Phys. g. 39b

Bernoulli

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Elementarisches Handbuch

der

industriellen

Physik, Mechanik und Hydraulik.

Von

Dr. Christoph Bernoulli,

Professor in Basel.

Erster Band,

einen Abriß der allgemeinen und industriellen Physik enthaltend.

Mit 7 Steindrucktafeln.

Stuttgart und Tübingen,

Verlag der J. G. Cotta'schen Buchhandlung.

1834.

Bayerische Staatsbibliothek München

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Inhalt des ersten Bandes.

		Seite
Vorrede	. . . .	5
Einleitung	. . . .	1

Erste Abtheilung.

Abriß der Physik überhaupt.

1. Abschnitt.	Von den allgemeinen Eigenschaften der Körper	9
2. „	Von der Cohäsionskraft	19
3. „	Von der Bewegung im Allgemeinen . . .	32
4. „	Vom Gleichgewicht und der Bewegung der festen Körper	44
5. „	Von den Erscheinungen fallender Körper . .	53
6. „	Von den tropfbarflüssigen Körpern	70
7. „	Von den elastischen Flüssigkeiten und namentlich der atmosphärischen Luft	83
8. „	Von den tönenden Bewegungen oder den akustischen Phänomenen	98
9. „	Von der Wärme	116
10. „	Vom Lichte oder von den optischen Phänomenen	144
11. „	Von der Elektrizität	171
12. „	Vom Galvanismus	191

Zweite Abtheilung.

Spezielle Physik in industrieller Beziehung.

			Seite
1.	Abschnitt.	Von einigen allgemeinen Eigenschaften der Körper in industrieller Beziehung	211
2.	„	Erläuterungen aus der Hydrostatik	225
3.	„	Industrielle Erläuterungen aus der Lehre von der Luft	245
4.	„	Industrielle Wärmelehre	264
5.	„	Erläuterungen aus der Lehre vom Licht	330

Vorrede.

Für jeden Techniker ist das Studium der Physik und Mechanik ein erstes und wesentliches Bedürfniß. Dieses wird auch immer mehr und allgemeiner anerkannt. Man sieht ein, daß jede Kunst auf gewissen Prinzipien beruht, und daß jene Wissenschaften hauptsächlich die Grundkenntnisse für alle technischen Gewerbe mittheilen. Man sieht ein, daß ohne solche Einsichten alle technischen Arbeiten mehr oder weniger unsicher bleiben und jede Vervollkommnung derselben fast unmöglich werde. Man bezweifelt nicht, daß auch die, welche tüchtig und geschickt ohne diese Studien geworden sind, ungleich schnellere und noch weitere Fortschritte gemacht haben würden, wenn sie ausser ihren glücklichen Anlagen noch wissenschaftliche Kenntnisse besessen hätten. Das Vorurtheil, Theorie und Praxis ständen in einem gewissen Widerspruch miteinander, weicht allmählig der richtigen Meinung, daß beide einander ergänzen müssen, und keine für sich ausreiche.

Und in der That, wie könnte sich jenes Vorurtheil bei Verständigen auch länger noch behaupten? Auch der entschiedenste Praktiker weiß, daß er bei Allem, was er

ausführen will, gewisse Regeln, Vorschriften oder Grundsätze beobachten, und daß er diese entweder durch eigne oder durch Anderer Erfahrungen erlangt haben muß. Was anders ist nun aber die Wissenschaft als eine sorgfältige Zusammenstellung aller bisherigen Erfahrungen und eine Vergleichung ihrer Ergebnisse? Was anders die Theorie, als eine Zurückführung dieser Resultate auf gewisse allgemeine Grundsätze oder Gesetze, aus denen sie sich als natürliche oder nothwendige Wirkungen herleiten lassen? Wer sollte also die Wissenschaft oder Theorie verschmähen, welche uns alle bisherigen Erfahrungen und nicht bloß die eines Einzelnen mittheilt, und diejenigen Prinzipien und Erklärungen kennen lehrt, welche sich aus den vereinten Bemühungen und Forschungen aller Zeiten als die zuverlässigsten ergeben haben? — Wahr ist, daß auch die Physik und Mechanik, wie alle Wissenschaften, noch keineswegs den höchsten Grad der Vollkommenheit erreicht haben, immerhin mögen sie das Vollkommenste geben, was dermalen möglich ist. Und noch wahrer ist, daß jedes Prinzip nicht ohne sorgfältige Beobachtung mancher oft einwirkender Nebenumstände angewandt werden will: dies gilt aber von allen Regeln; und aus einer unbedachtsamen Anwendung derselben folgt noch keineswegs, daß die Regel selbst unrichtig sey. Es ist also sicherlich wahr, daß für jeden Industriellen, jeden Techniker gründliche und umfassende Kenntnisse in diesen Wissenschaften einen großen Werth haben müssen.

Nicht minder wahr ist indessen, daß die Erlangung dieser Kenntnisse für den größten Theil der Gewerbtreibenden schwierig und nur in bescheidenem Maße möglich

ist. Wohl sind in neuerer Zeit verschiedene höhere oder polytechnische Lehranstalten errichtet worden, den Wenigsten sind diese aber zugänglich, weil die Wenigsten den erforderlichen Zeit- und Geldaufwand bestreiten können. Der allgemeine Schulunterricht nimmt durchgehends hingegen sehr wenig auf die besondern Bedürfnisse der Gewerbsstände Bedacht, und einer zweckgemäßen Reform stehn nicht nur pädagogische Vorurtheile, sondern auch die Schwierigkeit im Wege, Lehrer zu finden, die ihre Aufgabe vollkommen begreifen und derselben gewachsen sind.

Die Allermeisten treten daher mit sehr mangelhafter Vorbereitung in's praktische Leben, und so sehr auch Viele, nachdem sie ihren Beruf angetreten, um so mehr nun die Wichtigkeit einsehen mögen, das Versäumte nachzuholen und wissenschaftliche Kenntnisse zu erlangen, so gebricht es ihnen doch meist an der erforderlichen Muße, und sie erkennen auch wohl, daß ihre manuelle Thätigkeit ruhigen Studien abhold ist.

Man hat seit einiger Zeit, die Nothwendigkeit einer solchen Nachbildung fühlend, an manchen Orten Lehrkurse veranstaltet, die ganz eigens der wissenschaftlichen Unterrichtung angehender Gewerbsleute bestimmt sind. Es scheint indessen nicht, daß der Erfolg den Erwartungen entspreche. Es scheint, wenn der Lehrer auch die gehörige Lehrgabe besizt und sich im Allgemeinen auf den Standpunkt seiner Zuhörer zu versetzen weiß, doch fast immer unmöglich, bei der großen Ungleichheit ihres Fassungsvermögens, ihrer Vorkenntnisse und ihrer praktischen Richtung für die Mehrheit verständlich und nützlich zu werden. Oefters bringen sie nur oberflächliche

Kenntnisse hervor, die bei den Einen eine thörichte Eitelkeit, bei andern hingegen Verachtung der Wissenschaft erzeugen.

Man hat ferner diese Unterweisung durch Verbreitung gemeinnütziger und wohlfeiler Zeitschriften zu befördern gesucht. So sehr indessen solche Unternehmungen für höhere Bildung anregen und empfänglich machen, und so nützlich sie für die seyn mögen, die bereits wissenschaftliche Grundkenntnisse besitzen, so sind sie doch schwerlich geeignet, eben diese zu verschaffen. Zu diesem Ende ist unzweifelhaft eine Darstellung und ein Studium der Wissenschaft in ihrem Zusammenhange nöthig.

Unstreitig fehlt es uns Deutschen nicht an Büchern, und an trefflichen, über alle Zweige der physikalischen und mechanischen Wissenschaften. Die allermeisten scheinen aber wenig die eigentlichen Bedürfnisse der industriellen Stände im Auge zu haben und nicht vorzugsweise eben das zu enthalten, was die große Mehrzahl solcher Leser bei den einmal vorhandenen Verhältnissen zu erfahren und zu lernen verlangt.

Manche sogen. populäre Lehrbücher der Physik sind für den, der einige Wissenschaftlichkeit sucht, zu oberflächlich, und ausserdem berühren sie gewöhnlich nur allgemeinere Naturerscheinungen, und übergehen alle technischen Anwendungen.

Elementarische Handbücher befriedigen oft nicht, weil sie meist, bei aller Zweckmäßigkeit als Schulbücher, zu oft Erläuterung eines Lehrers voraussetzen, und anbei auch sich vorzüglich auf die Phänomene beschränken, welche die physikalischen Apparate darbieten.

Gründlichere und umfassendere Lehrbücher der Physik sind hingegen oft für solche Leser unverständlich und enthalten unverkennbar eine Menge Abschnitte, die, so interessant sie dem Physiker seyn müssen, doch für den Techniker in der That nur wenig Werth haben. Zudem sucht derselbe auch bei diesen Werken, bei aller Ausführlichkeit, oft vergebens eine direkte Erläuterung der industriellen Erscheinungen.

Aus ähnlichen Gründen ist begreiflich, warum manche der vorzüglichsten Lehrbücher der Mechanik die Mehrheit der Industriellen wenig anzusprechen scheinen. Manche sind zu konzis oder zu rein theoretisch, und setzen zu viele mathematische Vorkenntnisse voraus. Größere sind entweder (wie das von Langsdorf) für Unzählige zu schwer, oder doch (wie das treffliche von Gerstner) zu kostbar. Die meisten Kompendien endlich geben zu wenig Beispiele, zumal Rechnungsbeispiele, obschon durch solche vornehmlich, so weit in Büchern es möglich ist, das Wissen einigermaßen zu einem praktischen gemacht werden kann.

Ich glaubte daher, daß, so reich auch unsere Literatur an Lehrbüchern der Physik und Mechanik ist, ein neues, das eigens auf den Bedarf der industriellen Klassen berechnet und insbesondere und ihren Vorkenntnissen angemessen behandelt, was für diese wissenswerth ist, immerhin Vielen angenehm und nützlich seyn dürfte; und diese Ansicht veranlaßte mich, den vorliegenden Abriß einer industriellen Physik, Mechanik und Hydraulik auszuarbeiten.

Bei dem geringen Umfange, auf den ich mich beschränken zu sollen glaubte, wird unstreitig manches nicht Unwichtige übergangen, Vieles mit nicht ganz befriedigender Ausführlichkeit behandelt seyn. Ebenso mußte das Buch, damit es durch mäßigen Preis möglichst Vielen zugänglich bleibe, nur mit den einfachsten Zeichnungen versehen werden. Um ferner gehörigen Raum für vielfache Beispiele (der Anwendung und Berechnung) zu gewinnen, habe ich Deutlichkeit und Faßlichkeit nicht durch weitläufige Erläuterungen erreichen dürfen; ich habe mich vielmehr eines gedrängten Styls beflissen und gern dem Leser zuzufügen überlassen, was er bei einigem Nachdenken selbst leicht finden mag.

Das Buch, soll es wirklich unterrichten, will daher aber auch nicht wie ein Lesebuch gelesen, sondern studirt und durchdacht werden. Zum Verstehen mancher spätern Abschnitte ist nöthig, daß man früher Vorgetragenes sich vergegenwärtige. Es hat mir entbehrlich geschienen, durch unterlegte Fragen die Leser zu einer Selbstprüfung aufzufordern, unstreitig wird aber eine solche nicht wenig helfen, das Erlernte einzuprägen. Nützlich auch wird Jedem seyn, nicht nur die hie und da angegebenen Beispiele nachzurechnen, sondern sich selbst noch zur Uebung analoge vorzulegen.

In wie weit mir die Ausführung, dem vorgedachten Zwecke gemäß, gelungen, steht mir natürlich nicht zu beurtheilen zu. Sollte das Buch indessen auch passend und lehrreich für Viele erfunden werden, so bleibt unvermeidlich, daß es Manchen noch immer zu gelehrt, Andern hinwieder nicht gründlich genug erscheinen mag.

Allerdings sezt das Buch gewisse Vorkenntnisse oder eine gewisse Schulbildung voraus. Ich glaubte annehmen zu dürfen, daß jeder Leser namentlich nicht nur Fertigkeit im gemeinen Rechnen und in dem mit Dezimalbrüchen besitze, sondern daß er auch die Anfangsgründe der Geometrie und die Elemente der Algebra kenne. Denn Jeder muß doch überzeugt seyn, daß ohne alle Kenntniß von Mathematik ein nur einigermaßen gründliches und wissenschaftliches Studium der Physik und Mechanik unmöglich ist. Ich habe keinen Anstand nehmen können, da ich eine möglichst faßliche, doch immer wissenschaftliche Behandlung derselben beabsichtige, zumal in der Mechanik und Hydraulik wenigstens hie und da Formeln aufzunehmen, und jedem Lernenden wird einleuchten, wie unentbehrlich diese Sprache ist, um kurz und bündig und allgemein gewisse Sätze oder Regeln auszudrücken und zu entwickeln. Immerhin habe ich nur die allerersten Anfangsgründe dieser Hülfswissenschaften als bekannt vorausgesezt. Schon von Logarithmen, Cubikwurzeln, Aequationen des zweiten Grades u. dgl. ist nur höchst selten die Rede.

Umgekehrt wird dieser Abriß aber auch in den Augen Mancher für zu wenig tief und wissenschaftlich gelten. Ich könnte wohl antworten, daß er für diese nicht geschrieben wurde. Ueberhaupt kann jedoch wohl nie von absoluter Gründlichkeit die Rede seyn. Lehrbücher, die auf große Gründlichkeit Anspruch machen, sind genöthigt, Sätze aus andern Wissenschaften aufzunehmen, ohne sie selbst zu erweisen, und Gesetze oder Formeln aufzustellen, deren Erweis sie der höheren Mathematik überlassen müssen; sollte es diesem

Buche also zum Vorwurf gereichen können, wenn zuweilen wichtige Ergebnisse oder Gesetze mitgetheilt wurden, auf deren theoretische Begründung verzichtet werden mußte? Diejenigen endlich, denen das Buch nicht genügen mag, werden dadurch wenigstens angeregt, in umfassendern Werken sich weiter zu unterrichten, und dann eher im Stande seyn, aus diesen Nutzen zu ziehen.

Ich übergebe also diese Abrisse der industriellen Physik, Mechanik und Hydraulik dem wißbegierigen Theile der Gewerbstände, nicht in der Erwartung, daß dieser Arbeit nicht manche Mängel und Unvollkommenheiten noch zukommen mögen, doch in der Hoffnung, daß immerhin dieselbe Vielen zum Selbstunterricht in diesen so wichtigen Wissenschaften behülflich seyn werden. Nützlich zu seyn, war wenigstens mein Wunsch und mein Bestreben.

Einleitung.

§. 1. Die Physik oder Naturlehre ist ein Zweig der allgemeinen Naturwissenschaft.

Unter der Naturwissenschaft verstehen wir den Inbegriff aller Kenntnisse, die wir von der Natur, d. h. von der gesammten Sinnen- oder Körperwelt erlangt haben; sie begreift alles, was wir wissen von der Beschaffenheit und den Eigenschaften der verschiedenen Naturkörper, sowie von den mannichfachen Erscheinungen und Veränderungen, die sie wahrnehmen lassen. Diese Wissenschaft hat demnach einen fast unübersehbaren Umfang, und um das Studium derselben zu erleichtern, wurde es nöthig, sie in mehrere einzelne Gebiete einzutheilen.

§. 2. Die gesammte Naturwissenschaft läßt sich vorerst in zwei große Abtheilungen bringen; die Naturgeschichte und die Naturlehre oder Physik im weitern Sinne des Worts.

Die Naturhistorie oder Naturgeschichte ist die Wissenschaft, welche sich mit der Beschreibung der verschiedenen Naturgegenstände befaßt, sie unterscheiden und benennen lehrt, und sie vergleicht und ordnet. Sie zerfällt in drei Hauptfächer; die Naturgeschichte der Thiere oder Zoologie; die der Pflanzen oder Botanik; und die der Mineralkörper oder Mineralogie. Zu den besondern Zweigen der Naturgeschichte sind überdies zu rechnen: die Anatomie oder Beschreibung des innern Baues der

Thiere und Pflanzen; die physische Geographie oder Erdbeschreibung, und die Geognosie oder Lehre vom Bau der festen Erdrinde.

§. 3. Die Physik oder Naturlehre (im weitern Sinne) ist hingegen derjenige Theil der Naturwissenschaft, der die Untersuchung der verschiedenen Eigenschaften und Veränderungen der Körperwelt zum Gegenstand hat, und der die gemeinsamen Ursachen derselben erforscht, oder sie zu erklären sucht. Auch diese Abtheilung zerfällt wieder in drei besondere Hauptwissenschaften: 1) die Physiologie oder die Lehre von den eigenthümlichen Erscheinungen der organischen oder lebenden Körper; 2) die Chemie oder die Wissenschaft von den Mischungsverhältnissen der Körper und deren Veränderungen; und 3) die eigentliche Physik (im engern Sinne) oder die Lehre von sämmtlichen Eigenschaften und Erscheinungen der Körperwelt, die weder vom Leben herrühren, noch auf Mischungsverhältnisse Bezug haben.

Ueberdies sind noch als besondere Zweige der Physik zu betrachten: die Physik der übrigen Weltkörper oder die physische Astronomie; die Physik der Erde oder Geologie, welche die Veränderungen, die der Erdkörper erleidet oder erlitten hat, erforscht; und die Meteorologie oder die Lehre von den atmosphärischen Erscheinungen oder Meteoren.

In dem vorliegenden Handbuche ist bloß von der Physik im engern Sinne die Rede.

Die Physik im engern Sinne ist immer eine Wissenschaft von ausnehmendem Umfange, deren Gebiet noch von Jahr zu Jahr erweitert wird. Auch sie wird daher noch in mehrere Zweige gesondert, die als eigene Wissenschaften besondere Namen führen. So nennt man Optik diejenige, die sich ausschließlich mit den Wirkungen des Lichts beschäftigt; Akustik die Physik des Schalls oder der Töne; Mechanik die Lehre von der Bewegung der Körper und namentlich der festen; Hydraulik die von der Bewegung der Flüssigkeiten u. a. m.

§. 4. Wie bei andern Wissenschaften ist diese Zertheilung der Physik in besondere Fächer oder Disziplinen eine Folge der

fortschreitenden Erweiterung ihres Gebietes und der immer zunehmenden Bereicherung an Thatsachen. Es wurde immer nothwendiger, die verwandten Gegenstände von andern zu trennen, um eine Uebersicht derselben möglich zu machen, und eine fernere Erweiterung der Wissenschaft zu erleichtern. Nie ist zwar zu vergessen, daß alle Zweige der Physik, ja alle der Naturwissenschaft, Theile einer einzigen Wissenschaft sind, und Jeder, der auch einen einzelnen Theil insbesondere nur zu studiren beabsichtigt, wird auch mit den übrigen nicht unbekannt bleiben dürfen. Unstreitig stehen jedoch die verschiedenen Zweige der Physik mit jedem einzelnen in sehr ungleicher Berührung; und derjenige, der seine Zeit möglichst ausschließlich auf einen Zweig zu konzentriren wünscht, wird immerhin in manchen andern nur die allgemeinen Kenntnisse zu erlangen brauchen. Und sowie für den, der sich vorzugsweise die Optik, die Elektrizität, die Mechanik oder Hydraulik zum Studium macht, manche andere Theile eine nur untergeordnete Wichtigkeit haben, so können auch dem Astronomen, dem Meteorologen, dem Geologen nicht alle Theile der physikalischen Wissenschaften gleich unentbehrlich heißen.

§. 5. Und dasselbe gilt unstreitig für Jeden, der die Physik zu besondern Zwecken studirt, ohne Zweifel also auch für den Industriellen. Unverkennbar haben für diesen manche Zweige der Physik ein ungleich größeres Interesse als andere. Sowie es daher eine meteorologische, eine astronomische Physik gibt, so kann auch von einer industriellen Physik die Rede seyn, oder einer Behandlung der Physik in besonderer Beziehung auf die Industriellen. Eine solche Physik wird zwar die wichtigsten Lehren aus allen Zweigen dieser Wissenschaft mittheilen müssen, weil eine gründliche Einsicht jedes einzelnen Theiles eine wenigstens allgemeine Kenntniß der ganzen Wissenschaft erheischt; mit besonderer Ausführlichkeit wird sie aber gewisse Theile, und vorzugsweise die der Mechanik und Hydraulik, zu erläutern haben.

Das vorliegende Handbuch einer industriellen Physik ist daher in vier Abtheilungen gebracht, wovon

Die erste einen elementarischen Abriß der Physik (im engern Sinne) überhaupt enthält,

Die zweite eine speziellere Behandlung der besonders für den Industriellen wichtigen Theile der Physik,

Die dritte die industrielle Mechanik; und

Die vierte die technische oder industrielle Hydraulik.

§. 6. Die Physik ist eine Erfahrungs-Wissenschaft. Sie beruht durchaus auf Erfahrungen, d. h. auf den Wahrnehmungen der verschiedenen Eindrücke, den die Aussendinge und ihre Veränderungen auf unsere Sinne machen.

Diese Erfahrungen machen wir auf zweifache Weise: 1) durch Beobachtungen, d. h. indem wir die Naturkörper und die ohne unser Zuthun erfolgenden Veränderungen derselben aufmerksam betrachten, und 2) durch Versuche oder Experimente, indem wir sie absichtlich unter mannichfaltige Umstände versetzen, um aus den sich dann ergebenden Erscheinungen ihre Eigenschaften kennen zu lernen. Die Werkzeuge, die oft zu diesem Ende angewendet werden, heißen physikalische Instrumente.

Das Gebiet der Physik erweitert sich in dem Maaße, als wir neue Erfahrungen erlangen, und die Natur bietet ein unerschöpfliches Feld zu neuen Untersuchungen und Entdeckungen dar. Nur solche Erfahrungen haben jedoch wissenschaftlichen Werth, die auf einer richtigen Wahrnehmung beruhen, wobei keinerlei Sinnestäuschung Statt hat, und bei welchen wir alle die Erscheinungen begleitenden Umstände soviel möglich und genau beachtet haben.

§. 7. Die Physik hat es aber nicht allein damit zu thun, die mannichfaltigen Erscheinungen zu beobachten und aufzuzeichnen, welche die Naturkörper unter den verschiedensten Verhältnissen darbieten; ihr Zweck geht namentlich dahin, die Ursachen dieser Erscheinungen zu erforschen oder diese zu erklären.

Wir gelangen zu dieser Erklärung, indem wir von dem Satz ausgehen, daß einerlei Wirkungen einer und derselben Ursache zuzuschreiben sind, und daß dieselbe Ursache unter den nämlichen Umständen dieselben und unter veränderten andere

Erscheinungen hervorbringen müsse. Durch Vergleichungen der Naturbegebenheiten und Nachdenken finden wir demnach, welche Erscheinungen von einer und derselben Ursache hergeleitet werden, und unter welchen Bedingungen diese oder jene Wirkungen erfolgen müssen. Die letzten Ursachen, die wir auf diese Weise zu entdecken vermögen, nennen wir Naturkräfte, die Regeln ihrer Wirksamkeit Naturgesetze, und die Verbindung dieser Gesetze zu einem Ganzen eine physikalische Theorie.

Das eigentliche Wesen dieser Kräfte können wir freilich nicht ergründen. Oft z. B. stellen wir uns dieselben als feine Materien vor, ohne eben ihre materielle Beschaffenheit darthun zu können. Die Annahme einer Grundursache, deren Natur vorerst noch unentschieden ist, nennt man eine Hypothese. So ist z. B. die Voraussetzung, daß die magnetischen Phänomene Wirkungen einer magnetischen Materie sind, eine Hypothese; allein auch diese beweist, daß Hypothesen gar oft zu einer wirklichen Erklärung der Naturerscheinungen in hohem Grade brauchbar sind, und daß wir, was immer das Wichtigste ist, mit Hülfe derselben die Gesetze finden können, nach welchen sich die Naturbegebenheiten voraus bestimmen lassen.

Erscheinungen hervorbringen müssen. Durch Beobachtungen der Naturbegebenheiten und Nachdenken finden wir demnach, welche Erscheinungen von einer und derselben Ursache begleitet werden, und unter welchen Bedingungen diese, oder jene Wirkungen erfolgen müssen. Die letzten Ursachen, die wir auf diese Weise zu entdecken vermögen, nennen wir Naturkräfte, die Regeln ihrer Wirksamkeit Naturgesetze, und die Verbindung dieser Gesetze zu einem Ganzen eine physikalische Theorie.

Das eigentliche Wesen dieser Kräfte können wir freilich nicht ergründen. Oft z. B. sehen wir uns dieselben als eine Materie an, ohne eben ihre materielle Beschaffenheit darthun zu können. Die Annahme einer Grundursache, deren Dasein zwar nicht erwiesen ist, nennt man eine Hypothese. So ist z. B. die Voraussetzung: daß die magnetischen Erscheinungen Wirkungen einer eigenthümlichen Materie sind, eine Hypothese; allein auch diese beweiset, daß Hypothesen oft zu einer natürlichen Erklärung der Naturerscheinungen in hohem Grade brauchbar sind, und daß man, was immer das Wesentliche ist, mit Hülfe derselben die Gesetze finden könne, nach welchen sich die Naturbegebenheiten genau bestimmen lassen.

Erste Abtheilung.

Elementarischer Abriss der Physik überhaupt.

Erster Abschnitt.

Von den allgemeinen Eigenschaften der Körper.

§. 8. Die Naturkörper unterscheiden sich von einander durch die Verschiedenheit ihrer Eigenschaften. Manche Eigenschaften besitzen nur gewisse Körper; solche heißt man besondere. Andere besitzen alle Körper, wiewohl in verschiedenem Grade; diese nennt man allgemeine Eigenschaften.

Jeder Körper ist unstreitig ein ausgedehntes Etwas, das einen mehr oder weniger kleinen Theil des allgemeinen Raumes anfüllt. Dieses Etwas, das diesen beschränkten Raum einnimmt, nennen wir Materie, und die räumliche Ausdehnung des Körpers seine Größe. Wir können uns keinen Körper ohne Größe und ohne Materie denken. Diese beiden Eigenschaften kommen also jedem Körper als nothwendige zu.

Wie jeder Raum, so ist ferner jeder Körper theilbar; jeder ist ferner beweglich, indem seine Stelle im Raume verändert werden kann. Die Erfahrung zeigt endlich, daß alle Materie ein gewisses Bestreben äussert, sich mit andern zu verbinden, oder ein Attraktions-Vermögen. Auch Theilbarkeit, Beweglichkeit und Attraktions-Kraft sind also allgemeine Eigenschaften.

Laßt uns diese allgemeinen Eigenschaften etwas näher betrachten.

1) Von der Größe.

§. 9. Jeder Körper ist nach einer dreifachen Richtung ausgedehnt, die man gewöhnlich seine Länge, Breite und Dicke nennt. Die Begrenzung des Körpers heißt seine Oberfläche, und

die Art dieser Begrenzung seine Figur oder Gestalt. Jedem Körper kommt also auch eine Figur zu. Diese Figur ist oft mehr oder weniger regelmäßig; zu den regelmäßigsten gehören die der Kugel, des Würfels, des Cylinders, Prismas u. a.

Der Raum, den ein Körper einnimmt, oder seine Größe heißt auch das Volum desselben. Denkt man sich die Materie aus einem körperlichen Raume weg, so nennt man einen solchen Raum einen mathematischen Körper, weil die Mathematik sich bloß mit der Ausdehnung oder Größe beschäftigt, und die Materie nicht in Betracht zieht. Das Innere einer sogenannten leeren Flasche ist kein wahrer leerer Raum, da Luft darin ist.

Um die Größe eines physischen (d. h. wirklichen) oder eines mathematischen Körpers zu messen, muß man eine körperliche Größe als Maaßeinheit annehmen. Gewöhnlich wählt man dazu Würfel von 1′, 1″, 1‴, 1 Meter u. s. w. Seite, und nennt diese Würfel Cubikfuße, Cubikzoll u. s. w.

1 Cub.′ hat 12^3 oder 1728 Cub.″, 1 Cub.″ = 1728 Cub.‴, 1 Cub. Met. — 1000 Cub. Dezimeter u. s. w.

Den körperlichen Inhalt oder das Volum eines durchaus rechtwinklichen Körpers findet man, wenn man Höhe, Dicke und Länge miteinander multiplizirt.

Das Volum eines Würfels findet man, wenn man die Länge einer Seite dreimal mit sich selbst multiplizirt. Ein Würfel von 7″ Seite hat ein Volum von $7^3 = 343$ Cub.″

Das Volum einer Kugel ist $= 0{,}5236\ d.^3$, wenn d den Durchmesser bezeichnet. *)

2) Von der Materie.

§. 10. Was den Raum eines physischen Körpers ausfüllt und ihn von einem bloß mathematischen unterscheidet, heißen wir seine Materie. Was die Materie an sich ist, wissen wir nicht. Da sie jedoch das Ausfüllende des Raumes ist, so muß sie zugleich jede andere Materie von dem nämlichen Raume ausschließen.

*) Mehrere Erläuterungen solcher Berechnungen s. im Vademecum des Mechanikers. Stuttgart und Tübingen, in der J. G. Cottaschen Buchhandlung. 1832. I. Nro. 5 u. 6.

Diese nothwendige Eigenschaft nennt man die Undurchdringlichkeit; und in der That, stoßen wir ein Messer z. B. in einen Körper, so kann es nur insofern eindringen, als die Materie des leztern ausweicht. Die Materie selbst ist also in diesem Sinne undurchdringlich.

Sehr oft erfüllt aber die Materie nicht den ganzen Raum, den ein Körper überhaupt einnimmt; er enthält oft eine Menge Zwischenräume, die, wenn auch nicht absolut leer, doch leer hinsichtlich jener Materie sind. So zeigt ein Schwamm, Bimsstein, Brod, Baumwolle 2c. eine Menge dergleichen leere Räume. Auf diese vorhandenen Zwischenräume ist gar sehr zu achten, wenn aus dem scheinbaren Volum eines Körpers auf die Menge Materie, die er wirklich enthält, oder seine Masse geschlossen werden soll. In einem Klafter Scheitholz machen die Zwischenräume oft $1/3$ des Volums aus. Ein Cubikfuß Kohlen in großen Stücken enthält weniger Kohlensubstanz, als ein gleicher in ganz kleinen Stücken.

Je mehr solcher Zwischenräume ein Körper hat, desto lockerer nennt man ihn; je weniger desto dichter.

§. 11. Häufig sind diese Zwischenräume überaus klein und kaum bemerkbar, und heißen dann Poren. Daß sie vorhanden sind, erkennt man bald durch das Mikroscop, bald daraus, daß manche Körper Flüssigkeiten einsaugen. So kann man nicht zweifeln, daß Zucker, Kohle, Holz, Sandstein, Leder 2c. porös sind.

Viele Physiker halten sogar die Porosität für eine allgemeine Eigenschaft der Körper. Sie glauben, daß die Metalle, so dicht sie zu seyn scheinen, Poren haben müssen, weil sie sich zusammendrücken lassen; und daß Flüssigkeiten porös seyn müssen, weil, wenn man z. B. 1 Cub.″ Wasser und 1 Cub.″ Schwefelsäure oder Weingeist untereinander mischt, das Volum des Gemisches nicht mehr 2 Cub.″ beträgt. Sie nehmen aber dabei an, daß die kleinsten Theile der Materie eine unveränderliche Größe haben, was allerdings nicht bewiesen ist.

Die Materie, aus der die verschiedenen Körper bestehen, zeigt übrigens sehr mannichfaltige besondere Eigenschaften; und es gibt daher vielerlei Materien. Körper, die (wie z. B. Kreide) in allen Theilen aus derselben Materie bestehen, heißen gleichartige

oder homogene; andere, die stellenweise aus verschiedenen Materien bestehen (wie Granit z. B.), ungleichartige oder gemengte.

3) Von der Theilbarkeit.

§. 12. In unsern Gedanken ist jede Größe, und also auch jeder Raum und jeder Körper in's Unendliche theilbar. Wir können uns jeden Theil immer noch kleiner denken. Ob jedoch die Materie wirklich in's Unendliche theilbar sey, oder ob sie aus zulezt untheilbaren Theilchen (sogen. Atomen) bestehe, ist nicht zu entscheiden.

Zum Bewundern ist immerhin, wie weit die wirkliche Theilbarkeit der Körper geht. Eine Menge Erscheinungen beweisen eine oft fast in's Unendliche gehende Zertheilung.

Durch gute Mikroscope kann man sogenannte Infusionsthierchen erblicken, die mehrere Millionenmal kleiner als ein Pulverkörnchen sind, und doch unzweifelhaft noch aus vielen Theilen zusammengesezt seyn müssen.

Mit 1 Gran Indigo kann man mehrere Pfund Wasser dergestalt färben, daß jeder Tropfen blau erscheint. Jener Gran Indigo muß sich also in viele Millionen Pünktchen vertheilt haben. Dasselbe beweisen riechende Substanzen. Ein Körnchen Moschus oder ein Tropfen Rosenöl kann aller Luft in dem größten Zimmer Geruch ertheilen. Nimmt man an, daß jeder Cubikzoll Luft nur ein paar Moschustheile enthält, so folgt daraus, daß jenes Körnchen in viele Millionen Theilchen zerstreut worden ist.

So kann die unbedeutendste Menge gewisser Materien einer großen Masse Speise oder Getränk einen eigenthümlichen Geschmack ertheilen; und es erhellt daraus ebenfalls, welche überaus kleine Theilchen unsere Sinnesorgane oft wahrnehmen können.

Ein merkwürdiges Beispiel gibt ferner das Vergolden. Mit einer Unze Gold kann man einen feinen vergoldeten Draht liefern, der an 100 Stunden oder über 1 Mill. Fuß lang ist, und an dem also wenigstens 1000 Mill. verschiedene Theilchen wahrnehmbar sind. *)

*) Nicht minder fein ist wohl das Metall auf der Oberfläche gewisser Thonwaaren vertheilt, auf denen bloß ein metallischer Schimmer erzeugt ist.

Löst man einige Grane Kupfervitriol in einem Glas Wasser auf, so werden mehrere hineingehaltene Messerklingen allmählig ganz röthlich, indem sie ausnehmend dünn mit Kupfer bedeckt werden.

§. 13. Diese Zertheilung der Körper in kleine Theile heißt auch die mechanische Theilung, um sie von einer ganz andern Art von Trennung, der chemischen, zu unterscheiden, deren viele Substanzen fähig sind.

Die meisten Substanzen bestehen nämlich, so gleichartig sie erscheinen, aus zwei oder mehreren innig verbundenen Materien. So besteht z. B. der Zinnober aus Quecksilber und Schwefel, der Zucker aus Wasserstoff, Sauerstoff und Kohlenstoff, der Salpeter aus Salpetersäure und Kali, und der eine dieser Bestandtheile wieder aus Stickstoff und Sauerstoff, der andere aus Kalium und Sauerstoff u. s. w. Wird eine also zusammengesezte Substanz in ihre Bestandtheile getrennt, Zinnober z. B. in Schwefel und Quecksilber, so heißt diese Trennung eine chemische, denn alle Untersuchungen, die sich auf eine Veränderung der Bestandtheile beziehen, gehören der Chemie an.

Durch die mechanische Theilung, so sehr weit sie gehen kann, werden die Bestandtheile nicht getrennt. Das kleinste Stäubchen Zinnober ist noch aus zweierlei Materien zusammengesezt. Und zur chemischen Trennung oder Scheidung werden hiemit andere Mittel erfordert.

Alle Körper sind ferner mechanisch — nicht alle aber chemisch theilbar. Die chemisch untheilbaren oder einfachen Substanzen (wie Schwefel, Blei, Sauerstoff u. a.) heißen Elementarstoffe oder Grundstoffe.

4) Von der Beweglichkeit.

§. 14. Jeder Körper ist fähig, den Ort zu verändern, an dem er sich befindet. Geschieht dies, so sagen wir, daß er sich bewegt. Jeder Körper also ist beweglich, und die Beweglichkeit eine allgemeine Eigenschaft. Nichtbewegung heißen wir auch Ruhe.

Da aber kein Körper an zwei Orten zugleich seyn kann, so erfordert jede Bewegung mehr oder weniger Zeit. Je weniger

Zeit er denselben Raum, oder je mehr Weg er in derselben Zeit zurücklegt, desto geschwinder nennen wir die Bewegung. Um die Geschwindigkeit zu bestimmen, müßten wir also die Zeit und den Weg oder den Raum kennen und vergleichen.

Die Geschwindigkeiten zweier Körper verhalten sich, wenn die Zeiten gleich sind, wie die Räume.

Wenn die Räume gleich sind, umgekehrt wie die Zeiten.

Macht der Umfang eines Rades a in 5 Sekunden 100′ und der von b in 3 Sek. 36′; so macht a in 1 Sek. 20′ und b 12′. Die Geschwindigkeiten verhalten sich also wie 20 : 12.

Gewöhnlich nimmt man 1 Sek. (oder auch 1 Min.) als Zeiteinheit an.

§. 15. Da ferner die Bewegung eine Veränderung ist, und jede Veränderung eine Ursache voraussezt, so muß jede Bewegung die Wirkung einer Kraft seyn. Diese Kraft kann eine äussere oder aber eine innere, d. h. in dem Körper selbst vorhandene seyn, immerhin ist sie als etwas von der Materie Verschiedenes zu betrachten. Diese Unveränderlichkeit der Materie an sich heißt man in der Physik die Trägheit, und zwar namentlich in Beziehung auf die Bewegung.

Aus dem Begriffe der Trägheit folgt aber nicht nur, daß eine Kraft erfordert wird, damit ein ruhender Körper in Bewegung komme, sondern ebensowohl, daß eine Kraft nöthig wird, um einen sich bewegenden Körper wieder ruhen zu machen, oder überhaupt um seine Bewegung abzuändern.

Da endlich dieselbe Kraft nur einerlei Wirkung hervorbringen kann, so wird mehr oder weniger Kraft erfordert, wenn ein Körper geschwinder oder langsamer, oder wenn eine größere oder kleinere Körpermasse mit derselben Geschwindigkeit bewegt werden soll.

Und dies bestätigen auch alle Erfahrungen. Es wird zehnmal mehr Kraft erfordert, um eine zehnmal größere Bleikugel zu bewegen, oder dieselbe Kugel zehnmal schneller.

§. 16. Die Erfahrung lehrt aber überdies, daß verschiedenartige Körper von gleichem Volum bald mehr, bald weniger Kraft erheischen, um die gleiche Bewegung zu erhalten. Ein Stück Blei erfordert wohl an fünfmal soviel Kraft als ein Stück Glas von derselben Größe, um mit der nämlichen Geschwindigkeit sich zu bewegen. Obschon daher beide Körper gleich dicht zu seyn, oder gleich viel Materie oder Masse zu enthalten scheinen, unverkennbar zeigt sich jedoch in diesem Falle, und insofern es sich um Bewegung handelt, das Blei als eine Materie, die in demselben Raume fünfmal mehr materielle Theile oder *Masse* einschließt. Gewöhnlich bestimmt man daher, zumal in der Mechanik, die Masse nicht nach dem Volum (auch bei scheinbar dichten Körpern), sondern nach der Bewegungskraft, die der Körper verhältnißmäßig erfordert, oder, wie wir gleich sehen werden, nach dem Gewichte.

5) Von der Attraktions-Kraft und Schwere.

§. 17. Manche Körper zeigen unter gewissen Umständen ein Bestreben, sich andern zu nähern, oder andere anzuziehen. So die elektrischen oder magnetischen Körper. Von diesen besondern Attraktions-Erscheinungen wird später die Rede seyn.

Ueberhaupt äussert sich aber in allen Körpern oder aller Materie eine ähnliche Attraktions-Kraft, die demnach zu den allgemeinen Eigenschaften derselben gehört. Diese aller Materie inwohnende Kraft gibt sich auf dreifache Weise oder in dreierlei Erscheinungen zu erkennen, und man unterscheidet auch drei Arten von Attraktions-Kräften.

§. 18. Für's Erste äussert sich eine solche Kraft bei der chemischen Verbindung verschiedener Stoffe zu gleichartigen Materien. Diese innige Vereinigung verschiedenartiger Atome zu neuen, die sich nicht leicht trennen lassen, setzt offenbar eine diese Verbindung bewirkende gegenseitige Anziehungskraft voraus. Diese chemische Attraktions-Kraft heißt man die *Affinität* oder *Verwandtschaft*. Die Verbindung des Schwefels

und Quecksilbers zu Zinnober schreibt man hiemit der Affinität zu. Jeder Stoff hat zu vielen andern mehr oder weniger Verwandtschaft.

Für's Zweite erkennt man sehr oft Wirkungen einer gegenseitigen Anziehungskraft, wenn zwei Körper, auch ohne sich zu verbinden in sehr nahe Berührung kommen. Daß die Theile eines Körpers zusammenhängen und sich nicht leicht mechanisch trennen lassen, muß offenbar einer solchen Anziehungskraft zugeschrieben werden. Man nennt diese Art von Attraktions-Kraft die Cohäsions-Kraft.

Für's Dritte ergibt sich endlich aus der Erfahrung, daß überhaupt alle Naturkörper ein Bestreben haben, sich einander zu nähern, oder daß sie sich gegenseitig anziehen, und die Wirkungen dieser Anziehung, die man die allgemeine Gravitation nennt, richtet sich einerseits nach der Masse (oder der Menge beweglicher Materie), andrerseits nach der Entfernung. Es hat demnach unter allen Weltkörpern eine wechselseitige Anziehung Statt, und diese nennt man insbesondere die Gravitation. Auf diese Weise z. B. ziehen die Erde und der Mond sich gegenseitig an, und beide würden sich sofort gegeneinander bewegen, wenn nicht andere Kräfte zugleich auf diese Weltkörper wirkten und diese Annäherung hinderten.

§. 19. Dieselbe Anziehung hat aber auch zwischen der Erde und allen darauf befindlichen Körpern Statt. Alle suchen sich ihr daher zu nähern und bewegen sich gegen dieselbe, wenn kein anderer Körper sie daran hindert: dieses Bestreben der Körper, sich gegen die Erde zu bewegen, heißt man die Schwere; und diese in Folge der Schwerkraft sich ergebende Bewegung das Fallen. Hindert ein anderer Körper das Fallen, so erleidet er durch den, der zu fallen strebt, einen Druck (oder Zug), und die Größe dieses Drucks heißt das Gewicht.

Da die Erde als Ganzes wirkt, so kann man sich vorstellen, daß ihre Anziehungskraft von ihrem Mittelpunkt aus wirke, und sie muß offenbar ungefähr die gleiche Kraft gegen jeden auf

derselben befindlichen Körper, er sey der Oberfläche etwas näher oder ferner, ausüben. Und da die Geschwindigkeit, mit der ein Körper fällt, durch die Größe der ziehenden Kraft bestimmt wird, so muß hiemit jeder Körper mit derselben Geschwindigkeit fallen. Der Druck hingegen, den ein Körper gegen einen andern, der ihn zu fallen hindert, ausübt, muß im Verhältniß der Masse, d. h. der Menge beweglicher Materie, größer oder kleiner seyn, oder das Gewicht sich wie die Masse verhalten.

§. 20. Körper von gleichem Volum haben hiemit häufig ein sehr verschiedenes Gewicht. Das Gewicht ist um so kleiner, je mehr Zwischenräume oder Poren sie enthalten; überhaupt aber je kleiner ihre Masse ist. (16.) Das verhältnißmäßige Gewicht der Körper bei gleichem Volum heißt man ihr spezifisches Gewicht; das Gewicht eines Körpers hingegen ohne Berücksichtigung des Volums sein absolutes.

Die Werkzeuge, die zur Auffindung des absoluten Gewichtes dienen, heißen Wagen. Die Gewichteinheit, nach der es gemessen wird, heißt man gewöhnlich Pfund, und theilt es in Unzen, Lothe, Quintchen und Grane ein.

In Frankreich ist die neue Einheit das Kilogramm. *)
1 Kil. = 2,0429 franz. Pfunde. 1 Kil. = 1000 Gramm.
Die Pfunde sind nach den Ländern von verschiedener Größe.

1 engl. Pf.	= 0,4533 Kil.		
1 Pariser Pf.	= 0,961 Nürnberger Pf.		
1 Wiener Pf.	= 1,102	„	
1 Berliner Pf.	= 0,919	„	
1 Cöllner Pf.	= 0,917	„	u. s. w.

Das spezif. Gewicht bestimmt man gewöhnlich nach dem Gewicht eines gleich großen Volums von reinem Wasser.

Wiegt ein Cub.'' Blei z. B. 11,35mal soviel als 1 Cub.'' Wasser, so ist das spez. Gew. des Bleis = 11,35.

Unter allen bis jezt bekannten Materien hat das Platinemetall das größte, und das Wasserstoffgas das geringste spez. Gew.

*) Unter Kilogramm versteht man das Gewicht eines Cubikdezimeters reinen Wassers bei etwa 3° R.

1 Cub.″ Platina wiegt 21mal soviel als 1 Cub.″ Wasser; dieses 800mal mehr als 1 Cub.″ gewöhnl. Luft, und diese 12mal mehr als das Wasserstoffgas.

Platina ist also spezifisch $21 \times 800 \times 12$ oder über 200,000mal schwerer als das Wasserstoffgas, und dieses kann noch ausnehmend verdünnt werden. *)

Ehemals glaubte man, die kleinsten Theile aller Materie müßten gleich schwer seyn; und man nahm daher an, spezifisch leichtere Körper müßten verhältnißmäßig lockerer oder größer seyn. Nach dieser Voraussetzung müßten die Poren im Wasser wenigstens $^{20}/_{21}$ des ganzen Raums ausmachen. Es widerspricht aber diese Vorstellung allzusehr allen sonstigen Eindrücken, welche die Körper auf unsere Sinne machen, und es ist daher ungleich wahrscheinlicher, daß die Verschiedenheit des spezif. Gewichts von einer Verschiedenheit der Materie selbst herrühre. Insofern jedoch die Körper gewöhnlich als Quantitäten beweglicher Materie in Betracht kommen, läßt sich allerdings sagen, daß das Blei z. B. 5mal mehr Materie enthalte als das Glas, wenn jenes ein 5mal größeres spezif. Gewicht hat als dieses.

*) Neulich will man gefunden haben, daß das reine Iridiummetall noch schwerer als Platina, nämlich 23mal schwerer als Wasser ist.

Zweiter Abschnitt.

Von den Wirkungen der Cohäsions-Kraft.

§. 21. Da alle Körper und zwar in unendlich kleine Theile theilbar, doch nicht wirklich getheilt sind, sondern zusammenhängende Ganze bilden, so muß eine gewisse Kraft die einzelnen Theile zusammenhalten. Diese Kraft nennen wir die Cohäsions-Kraft, und diesen Zusammenhang die Cohärenz. (18)

Ohne Zweifel ist diese Kraft eine Art Anziehungskraft, die der Materie innewohnt, und der chemischen Affinität oder derjenigen ähnlich, welche verschiedenartige Materien in ihren kleinsten Theilchen zu einer neuen und gleichartigen Substanz verbindet. Vielleicht sogar ist es eine und dieselbe Naturkraft, die beide Wirkungen unter verschiedenen Umständen hervorbringt. Immerhin ist es zweckmäßig, sie als zwei eigenthümliche Kräfte zu betrachten.

Wir sagen daher, die Affinität (oder Verwandtschaft) verbinde die Quecksilber- und Schwefelatome zu Zinnoberatomen, und wir heben die Wirkungen der Affinität auf, wenn wir den Zinnober in seine Bestandtheile trennen. Der Cohäsions-Kraft schreiben wir hingegen zu, daß ein Stück Zinnober fest ist, und sagen, daß wir ihre Wirkungen aufheben, wenn wir den Zinnober zerreiben. (13)

§. 22. Alle Körper lassen sich hinsichtlich ihrer Cohärenz in zwei Hauptklassen bringen. Bei den einen nämlich ist diese so groß, daß sich die Theilchen nicht ohne ein gewisse Kraft trennen oder auch nur verschieben lassen; solche Körper nennen wir feste oder starre. Bei den andern hingegen gestatten die Theilchen die leichteste Verschiebbarkeit, und gleiten oder fließen ohne

Widerstand übereinander weg, wenn irgend eine Kraft sie zu bewegen strebt. Diese heißen flüssige.

Unter den flüssigen bemerken wir aber ferner noch eine sehr wesentliche Verschiedenheit.

Bei den einen zeigen die Theile, so verschiebbar sie sind, doch untereinander noch eine sehr merkliche Anziehungskraft. Sie vereinigen sich zu kleinen kugligen Massen oder Tropfen, so oft keine andere Kraft sie daran verhindert, und bilden überdies Materien von einer bestimmten Dichtigkeit. Man nennt solche Körper daher tropfbar flüssige.

Bei den andern erscheint hingegen die gegenseitige Anziehung so viel als zernichtet. Die Theile suchen sich vielmehr fortdauernd von einander zu entfernen, und die Dichtigkeit dieser Flüssigkeiten hängt daher von irgend einem äusseren Drucke ab, der ihrer Ausdehnsamkeit oder Expandirung Grenzen sezt. Solche Flüssigkeiten heißen elastische oder expansible, und dahin gehören alle Luft- und Dampfarten.

§. 23. Man unterscheidet demnach drei Hauptzustände oder Formen der Cohäsion, die feste, die tropfbarflüssige und die elastischflüssige; und dieser Unterschied ist bei der Betrachtung aller Bewegungsphänomene so wichtig, daß darnach die ganze Physik, die von diesen Erscheinungen handelt, in drei Haupttheile zerfällt.

Keiner Materie ist jedoch eine jener Cohäsionsformen ausschließlich eigen. Sie ändert sich öfters, und namentlich durch den Einfluß der Wärme, des äusseren Drucks und der chemischen Affinität.

So werden tropfbare Flüssigkeiten durch Erkältung fest oder starr, oder umgekehrt feste Körper durch Erhitzung flüssig. Eben so werden jene durch Erhitzung zu Dämpfen, und diese durch Entziehung der Wärme fest oder tropfbar. Die meisten und vielleicht alle Luftarten lassen sich durch starke Erkältung und sehr starken Druck in tropfbare Flüssigkeiten verwandeln. Sehr häufig endlich verändert sich jener Zustand bei chemischen Verbindungen. Der Sauerstoff verliert seine Luft- oder Gasform, wenn er sich

mit einem festen Körper verbindet. In der Kreide ist Kohlensäure und Wasser in fester Form vorhanden. Im Feuer wird jene ein Gas, dieses Dampf. Beim Löschen des Kalks wird das Wasser, mit diesem sich verbindend, fest u. s. w.

§. 24. Zuweilen geht auch die feste Form stufenweise in die der Flüssigkeit über. So wird Wachs oder Talg bei der Erwärmung allmählig weich und zuletzt erst völlig flüssig. Sehr weicher Teig kann mit Recht flüssig heißen.

Ebenso nähern sich zerpulverte Substanzen, wie Mehl, trockener Sand, Staub u. dgl., da die einzelnen Theile sich leicht verschieben lassen, der Beschaffenheit einer Flüssigkeit, und werden daher auch wohl Halbflüssigkeiten genannt, obwohl auch das feinste Mehl keine Tropfen bildet.

Endlich ist, zumal bei den festen Körpern, die Cohärenz nicht nur dem Grade nach, sondern auf andere Weise noch oft sehr verschieden. Sie sind demnach mehr oder weniger hart oder weich, spröde oder dehnbar, zähe, elastisch u. dgl., oder haben ein verschiedenes Gefüge. Diese Modifikationen der Cohärenz sind für die Anwendbarkeit der Körper höchst wichtig und verdienen daher eine nähere Betrachtung.

Verschiedene Cohärenz der festen Körper.

§. 25. In jedem festen Körper cohäriren die Theile so, daß es eine gewisse Kraft braucht, sie zu trennen; und nach der Größe der dazu erforderlichen Kraft messen wir die Festigkeit der Körper. Diese Kraft kann jedoch in verschiedener Richtung auf den Körper zur Zerstörung seines Zusammenhangs angebracht, und demnach seine Festigkeit in verschiedener Beziehung bestimmt werden. Man kann eine Stange der Länge nach auseinander reißen, oder sie quer zerbrechen; man kann sie ferner durch einen Druck zerquetschen, oder aber um ihre Axe bloß verdrehen. Es läßt sich also die Festigkeit derselben in vierfacher Beziehung bestimmen, und dies auszumitteln muß für die Mechanik oder das Maschinenwesen von großer Wichtigkeit seyn.

§. 26. Eine Verschiedenheit der Cohärenz zeigt sich ferner in dem ungleichen Grade von Härte oder Weichheit der Körper. Unter der Härte verstehen wir nämlich die Schwierigkeit, durch andere verlezt zu werden. Offenbar ist diese Eigenschaft eine relative. Marmor ist hart im Vergleich mit Holz oder Talg, und weich im Vergleich mit Stahl oder Diamant.

Die verhältnißmäßige Härte der Körper findet sich am füglichsten, indem man nachsieht, welche einander ritzen. Rizt ein Stein einen andern, so wird jener in der Regel der härtere seyn. Um mit einem Griffel auf Schiefer zu schreiben, muß der Griffel etwas weicher seyn. So färben Kreide, Bleistift ꝛc. nur dann ab, wenn sie weicher sind als der Körper, auf dem man sie reibt.

Ein härterer Körper kann jedoch auch von einem weicheren angegriffen werden, wenn dieser eine sehr schnelle Bewegung hat, weil die berührenden Theile dann mit viel größerer Kraft an die ruhenden anstoßen.

Man kann z. B. auf hölzernen Scheiben, die geschwind umlaufen, sehr harte Körper poliren; und wenn man Stahl an eine scharfe und möglichst schnell umdrehende Scheibe von Schmiedeisen hält, so wird der Stahl eingeschnitten. Diese Erfahrung wurde erst in neuerer Zeit gemacht. Damit jedoch die eiserne Scheibe den Stahl angreife, muß sie eine Umgangsgeschwindigkeit von wenigstens 70′ per Sek. haben. Bei noch größerer greift sie sogar den Quarz an. Eine kupferne Scheibe schneidet auf gleiche Weise in Eisen oder Bronze.

Ist, wie beim Drehen, der schneidende Körper in Ruhe, so muß dieser immer härter seyn als der abzudrehende, und da dieser bewegt wird, so muß er um so langsamer sich bewegen, je härter er ist. Will man z. B. hartes Gußeisen abdrehen, so kann dies nur geschehen, wenn man es sehr langsam umgehen läßt.

§. 27. Manche Körper haben bei größerer Härte weniger Cohärenz. So zerbricht das härtere Glas weit leichter als Eisen. Gleiches gilt von vielen der härtesten Steine. Größere Härte sezt dann gewöhnlich mehr Sprödigkeit voraus.

Dieselbe Materie kann ferner harte und weiche Körper bilden. Marmor und Kreide, Diamant und Kohle, Saphir und Thonerde haben dieselben Bestandtheile. Auch läßt sich die Härte ohne Aenderung der Substanz verändern. Thon und Speckstein werden hart durch Brennen; Metalle durch Erhitzung weicher. Der Stahl wird ausnehmend hart, wenn er glühend gemacht und plötzlich (durch Eintauchen in Wasser, Oel, Quecksilber ꝛc.) abgekühlt wird. Umgekehrt wird die Bronze (Kupfer und Zinn), wenn sie langsam erkaltet, weit härter, als wenn man man sie schnell abkühlt.

§. 28. Auf eine eigenthümliche Weise cohäriren die Theile bei **dehnbaren** Körpern. Bei solchen lassen sich die Theile durch Druck oder Strecken verschieben, doch ohne daß ihr Zusammenhang verloren geht. Der Gegensatz dieser Eigenschaft oder der Duktilität ist die **Sprödigkeit**. Dehnbare Materien nennt man auch biegsam, geschmeidig, hämmerbar u. s. w.

Dehnbarkeit sezt immer eine gewisse Weichheit voraus. Doch ist Stahl z. B. weit dehnbarer als das weiche Blei. Die ausnehmende Dehnbarkeit einiger Metalle zeigt sich beim Drahtziehen, Plattschlagen und Laminiren. In der Glühhitze wird das Glas so weich und dehnbar, daß es sich aufblasen oder zu den feinsten Fäden spinnen läßt.

Ueberhaupt hat die **Hitze** einen großen Einfluß auf diese Eigenschaft. Die Metalle werden in der Regel durch Pressen, Hämmern u. dgl. spröder, und durch Ausglühen wieder duktil. Blech und Draht muß daher während der Verfertigung von Zeit zu Zeit ausgeglüht werden.

Der Stahl wird durch das Ablöschen nicht nur härter, sondern auch spröder, und durch nochmalige Erhitzung seine Sprödigkeit etwas gemindert.

Auffallend spröde (und brüchig) wird das Glas (wie zumal die sogenannten Glastropfen zeigen) und alle Töpferwaare durch rasche Abkühlung; daher alle diese Gegenstände in besondern Oefen recht allmählig kalt werden müssen.

Eine sonderbare Wirkung hat die Wärme auf den Zink. Dieses Metall ist gewöhnlich sehr spröde; wird es jedoch auf

100° oder etwas mehr erhizt, so läßt es sich leicht laminiren oder hämmern, und bleibt dann auch nachher noch sehr biegsam. Diese erst in neuerer Zeit in Erfahrung gebrachte Eigenheit des Zinks hat die Brauchbarkeit dieses Metalls nicht wenig erhöht. *)

§. 29. Einen besondern Cohärenzzustand sezt ferner die Elastizität oder Federkraft voraus. Elastisch heißt ein Körper, wenn er, einem Drucke nachgebend, seine Gestalt verändern kann, sofort aber die frühere wieder annimmt, wie der Druck nachläßt. Die Theile müssen also wie bei den duktilen Substanzen verschiebbar seyn, zugleich aber ein fortwährendes Bestreben besitzen, in eine gewisse Lage zurückzukehren.

Eine Menge Körper sind mehr oder weniger elastisch. In hohem Grade zeigt das Federharz oder Cautschuk, eine gespannte Saite rc. diese Eigenschaft.

Am leichtesten läßt sie sich bei Körpern beobachten, die nicht plötzlich ihre vorige Gestalt wieder annehmen, wie gepolsterte Kissen rc., allein auch da, wo augenblicklich diese Wiederherstellung Statt hat, läßt sich die Deformirung nachweisen. Läßt man z. B. eine elfenbeinene Kugel auf eine mit Kienruß geschwärzte Marmorplatte fallen, so entsteht bei der Berührung nicht ein bloßer Punkt, sondern ein ziemlich breiter Flecken.

Auch ein bloß biegsamer Körper sezt der Kraft, die ihn verbiegen will, einen Widerstand entgegen; dieser hört aber auf, wenn der Körper einmal nachgegeben hat. Bei elastischen hingegen dauert diese Gegenwirkung fort, da sie die Theile wieder in ihre vorige Stellung zurückzubringen vermag. Die Elastizität muß daher einen wesentlichen Einfluß auf die Phänomene beim Aneinderstoßen solcher Körper ausüben.

§. 30. In hohem Grade sind alle Dampf- und Luftarten elastisch; und die Elastizität der leztern ist zum Bewundern

*) Bei 200° wird er aber so spröde, daß er sich in einem Mörser zerpulvern läßt.

dauerhaft. Zusammengedrückte Luft nimmt nach vielen Jahren, wenn der Druck nachläßt, die vorige Ausdehnung wieder an. Doch auch bei festen Körpern erhält sie sich oft ausnehmend lange. Bei den Federn der Uhren bleibt sie viele Jahre lang fast ungeschwächt. Wird indessen eine Feder zu stark oder zu lange zusammengedrückt oder auseinander gezogen, so nimmt sie nicht vollkommen wieder ihre vorige Gestalt an. Uhren leiden daher, wenn sie lange aufgezogen bleiben, ohne in Gang zu kommen.

Manche Körper werden unter gewissen Umständen nur elastisch, wie Saiten, Häute ꝛc. durch Spannung, der Stahl durch plötzliche Abkühlung ꝛc., Glas zeigt sich sehr elastisch, wenn es sehr dünn ist (wie dies an den sogen. Glastrompeten sichtbar ist). Eine Cautschukflasche wird in Schwefeläther oder Steinkohlenöl so weich, ohne die Elastizität zu verlieren, daß sie sich zu einem dünnen Ballon aufblasen läßt.

Zu wie vielfacher Anwendung manche Substanzen durch eine ausgezeichnete Federkraft (wie Stahl, Fischbein u. a.) brauchbar werden, ist allgemein bekannt.

§. 31. Einen eigenthümlichen Zusammenhang der Theile sezt endlich das verschiedene Gefüge sehr vieler Körper voraus. Wenn Schiefer sich leicht in Blätter, Holz der Länge nach in Fasern ꝛc. zerspalten läßt, so müssen die Theile nach gewissen Richtungen ungleich mehr cohäriren, als nach andern. Ebenso deutet der verschiedene Bruch der Mineralien (wie der muschlige des Feuersteins, der splittrige des Hornsteins u. a.) eine eigenthümliche Cohärenz an. Am wunderbarsten erscheint ohne Zweifel diese Eigenthümlichkeit bei vielen krystallisirten Substanzen, die sich unter bestimmten Winkeln oft nach drei oder vier Richtungen dergestalt spalten lassen, daß die Spaltungsflächen die vollkommenste Politur zeigen. In der That bilden sich aber auch die Krystalle, wie dies bemerklich ist, wenn man z. B. eine heiße Salpeterauflösung langsam kalt werden läßt, indem sich die kleinsten Atome, sowie sie unauflöslich werden, nach bestimmten Cohäsions-Gesetzen aneinander fügen.

Von der Cohäsion zwischen verschiedenen Körpern.

§. 32. Wir haben bisher bloß die Wirkungen der Cohäsion zwischen den einzelnen Theilen eines und desselben Körpers betrachtet. Diese Kraft äussert sich aber auch, wenn Flächen verschiedener und zwar sowohl gleichartiger als ungleichartiger Körper in sehr naher Berührung sind. Man nennt die Kraft, die in diesem Falle oft ein Zusammenhängen bewirkt, gewöhnlich die Adhäsion.

Legt man zwei nicht ganz glatte Glas- oder Metallplatten aufeinander, wovon die obere 1 Pf. wiegt, so braucht man nur eine Kraft = 1 Pf., um sie zu heben, merklich mehr aber, wenn sie völlig glatt geschliffen sind, und noch mehr, wenn man zwischen beide einige Tropfen Wasser oder Oel bringt, so daß alle Theile sich berühren. Unverkennbar äussert sich also hier eine bedeutende Cohäsion.

Daß diese um so beträchtlicher wirkt, je inniger die Theile sich berühren, ergibt sich aus Vielem. Zwei glatte Bleiwürfel adhäriren kaum merklich, weit mehr schon, wenn sie aufeinander gedrückt werden; und geschieht dies mit großer Kraft, so hängen sie oft so fest aneinander wie ein ganzes Stück Blei. Dasselbe hat Statt, drückt man zwei von einandergeschnittene Stücke Cautschuk aneinander. *)

Bringt man warmen Talg zwischen glatte Metallplatten, so cohäriren beide nach dem Erkalten sehr stark. Schon Muschenbroek fand, daß 3 □″ große polirte Platten von Glas 130, von Messing 150, von Kupfer 200, von Marmor 225 und von Blei oder Eisen an 300 Pf. erfordern, um von einandergerissen zu werden; wohl ist nun für den Druck der Luft (da keine dazwischen sich findet) an 45 Pf. abzurechnen; immerhin ergibt sich eine ausserordentliche Cohäsions-Kraft.

§. 33. Diese Adhäsion von Flächen, die durch Druck oder durch Zwischenmittel in sehr nahe Berührung gebracht werden, wird

*) Um das Ankleben zu verhindern, muß der C. unter Wasser zerschnitten werden.

vielfältig benuzt. Das Leimen, Kütten, Zusammenkleben rc. gründet sich hauptsächlich auf diese Wirkung, denn eine chemische Verbindung hat offenbar nicht Statt. Ebenso beruht auf dieser Wirkung das Vergolden und Plattiren, das Verzinnen und Firnisiren rc. und das Belegen der Spiegel. Die Flächen müssen dabei möglichst blank seyn, weil dann nur eine starke Cohäsion eintritt.

§. 34. Daß auch die einzelnen Theile der tropfbar flüssigen Körper unter sich cohäriren, beweist schon die Bildung der Tropfen und die des Wasserstrahls. Auch würde ohne diese Cohäsion ein starker Wind alles Wasser zerstieben. Ferner erklärt sich daraus hauptsächlich, daß man eine dünne Nähnadel auf Wasser legen kann, ohne daß sie untersinkt, und daß überhaupt kleine Partikelchen schwerer Körper sich lange im Wasser schwebend erhalten können; eine Wirkung, die man häufig zum Schlemmen und Sondern von Pulvern in Sorten verschiedener Feinheit benuzt.

§. 35. Die Flüssigkeiten adhäriren aber auch mit festen Körpern. Offenbar beruht darauf alles Naßwerden. Ein nasses Tuch hält das anklebende Wasser so fest, daß man zum Ausringen eine bedeutende Kraft anwenden muß, und daß nasse Segel den Wind besser fangen.

Die Adhäsion ist indessen zwischen den verschiedenen Körpern nicht in demselben Grade wirksam. Wasser z. B. adhärirt mit Metallen stärker als mit Holz; mit Silber und Blei stärker als mit Eisen und Kupfer; Glas mit Wasser weit mehr als mit Oel oder Weingeist. Ist die Adhäsion zwischen den Theilen einer Flüssigkeit stärker als die mit dem festen Körper, so hat gar kein Naßwerden Statt. So werden die meisten Körper durch Quecksilber nicht naß, ein fetter oder staubiger Körper nicht durch Wasser. *)

*) Daß indessen Oel nicht ohne Adhäsion mit Wasser ist, ergibt sich daraus, daß ein Tropfen Oel auf eine Wasserfläche gebracht sich schnell darauf ausbreitet.

§. 36. Eine Menge Phänomene sind Wirkungen der größern oder geringern Adhäsion.

Daher rührt, daß Flüssigkeiten beim Ausgießen gerne dem Gefäße nach abfließen, und um so eher, je breiter die Mündung ist, und je langsamer man sie ausgießt; daß ein Wasserstrahl umgebogen wird, wenn man ihn berührt ꝛc.

Ebendaher kommt, daß, taucht man einen Körper (z. B. eine Glasröhre) a (Fig. 1) in eine Flüssigkeit (wie Wasser), sie bei bb um denselben sich erhebt, oder umgekehrt wie bei cc sich abwärts zieht, wenn derselbe (wie im Quecksilber) eine geringe Adhäsion hat. Aus derselben Ursache erhebt sich Wasser am Rande eines Gefäßes, und ziehen sich leichte darauf schwimmende Körperchen (z. B. Holzstückchen) an und nähern sich dem Rande.

Schüttet man etwas Wasser auf einen mit Bärlappmehl (oder Staub) bestreuten Tisch, so bildet es umgekehrt Kügelchen. Einen damit überzogenen Finger kann man in Wasser tauchen, ohne daß er naß wird u. s. w.

§. 37. Taucht man eine an beiden Enden offene Glasröhre p (Fig. 2.) in Wasser, so steigt das Wasser in der Röhre über das Niveau, obschon der Luftdruck in und ausser der Röhre der gleiche ist; auch hat dasselbe unter der Luftpumpe Statt. Je enger die Röhre ist, desto höher steigt das Wasser, besonders wenn die Röhre schon innen feucht ist.

Bei einer Weite von 1''' steigt es an 3''' hoch, bei ½''' Weite 6'''; bei ¼''' — 12''' u. s. w., so daß man die Weite der Röhre aus der Höhe der innern Wassersäule beurtheilen kann.

Ebenso steigen Oel und Weingeist — doch nur etwa halb so hoch. (55.)

§. 38. Am deutlichsten sieht man diese Phänomene, wenn man gefärbte Flüssigkeiten und recht enge Röhrchen (sogen. Haar- oder Capillarröhren) anwendet.

Offenbar rühren diese Phänomene von der Adhäsion her. Je enger die Röhre ist, desto größer wird verhältnißmäßig die

Anziehung der mit dem Wasser in Berührung kommenden Glasfläche, und sie vermag daher eine höhere Säule zu tragen. *)

Dasselbe bemerkt man, wenn man zwei nur etwa um die Dicke eines Papiers von einander abstehende Glasscheiben in Wasser taucht, oder zwei unter einem sehr spitzen Winkel nebeneinander gestellte Scheiben (Fig. 3). —

Ganz das Umgekehrte ergibt sich hingegen, wenn man Glasröhren in Quecksilber taucht. Das Quecksilber in der Röhre erreicht wie Fig. 4 nicht einmal das Niveau und bildet darin eine convexe Fläche a. Diese Erscheinung hat nicht in einer abstoßenden (oder negativen) Kraft des Glases ihren Grund, sondern rührt einzig daher, daß die Adhäsion der Quecksilbertheile unter sich größer ist, als die des Quecksilbers mit dem Glase.

Auch in einer gekrümmten heberförmigen Röhre mit Schenkeln von ungleicher Weite zeigt sich diese Wirkung. Füllt man die Röhre A (Fig. 5) mit Wasser, so wird es in a höher stehen als in b; füllt man sie hingegen mit Quecksilber, so wird dieses in b höher stehen als in a. Ohne jene Capillarwirkung würde die Flüssigkeit in beiden Schenkeln dasselbe Niveau erreichen.

§. 39. Unzählige Erscheinungen erklären sich aus dieser merkwürdigen Capillarattraktion. Die Poren vieler Materien bilden eine Menge haarröhrchenähnlicher Durchgänge. Steht daher z. B. ein Haufen Sand, oder ein Stück Zucker auch unten nur in Wasser, so zieht dieses sich bald und oft sehr weit hinauf. Auf gleiche Weise zieht sich die Feuchtigkeit aus der Erde an die Oberfläche. Wären jene Porengänge z. B. nur $\frac{1}{100}$''' weit, so müßte die Feuchtigkeit an 2' hoch steigen. Aus derselben Ursache steigt die Feuchtigkeit zwischen Tapeten, engen Ritzen u. s. w. Verdunstet eine salzige Flüssigkeit an einer Wand, so bleiben Salztheile darauf sitzen; und da diese porös sind, so zieht die Flüssigkeit hindurch, und das Salz bildet daher

*) Der Umfang ist nämlich bei einer zweimal engern Röhre zweimal, der Querschnitt aber viermal kleiner.

eine sogen. Effloressenz. In Folge dieser Attraktion steigt ferner das Oel oder der flüssige Talg in den Dochten in die Höhe, und zieht sich die Feuchtigkeit in alle schwammige Substanzen. *)

Und bemerkenswerth ist zugleich, mit welcher Kraft diese Körper dann oft aufschwellen. Ein Seil, das genezt wird und dadurch aufschwillt und sich verkürzt, kann ein großes Gewicht heben; ein hölzerner Keil, der in einem Steine eingeklemmt ist, diesen sprengen, wenn man ihn naß macht. Diese Kraft ist ohne Zweifel das Produkt der Adhäsionskraft, die unzählige Punkte auf das Wasser ausüben. Manche Körper, wie Papier, ziehen sich hingegen zusammen, wenn sie trocken werden. Papier wird glatt, wenn es angefeuchtet auf ein Zeichnungsbrett aufgespannt wird.

§. 40. Die Wirkungen der Adhäsion kommen in der Technik vielfach in Betracht. Aller Farbendruck gründet sich z. B. auf diese Eigenschaft, insbesondere aber die Lithographie. Diese Kunst beruht nämlich auf einer sinnreichen Anwendung des Prinzips, daß Fettigkeit mit Fett, aber nicht mit Wasser cohärirt, indem es wesentlich in Folgendem besteht: Man zeichnet mit einer fetten Kreide auf einen Kalkstein, der die fette Zeichnung einsaugt, und benezt ihn darauf mit Wasser, so daß alle nicht mit der Zeichnung versehenen Stellen naß werden. So oft man diesen Stein nun mit einer ebenfalls fetten Farbe und darauf mit Wasser überstreicht, so nimmt stets nur die Zeichnung Farbe an, und der Stein läßt sich darnach unzählige Male abdrucken. **)

Auf der Eigenschaft des flüssigen Bleies, wenn es durch enge Löcher ausläuft, wie Wasser in kugelrunden Tropfen herabzufallen, beruht die Kunst der Schrotfabrikation. Man läßt

---

*) Jene Attraktion befördert unstreitig auch die Bewegung der Säfte in den Gefäßen der organischen Körper, obgleich hier die organische Thätigkeit hauptsächlich wirkt.

**) Eine ausführliche Beschreibung s. in meiner Technologie, Bd. 1. (Basel 1834.)

die Bleitropfen nämlich so hoch herunterfallen, daß sie während des Fallens Zeit haben zu erhärten. *)

Eine in einigen Fällen nicht ohne Nutzen anwendbare Wasserhebungsmaschine (die Verasche Seilmaschine) gründet sich einzig auf die Wirkungen der Adhäsion.

Diese Kraft endlich kommt in der Hydraulik häufig in Betracht, weil bei der Bewegung des Wassers in Flußbetten und Röhren sie als ein besonderes Hinderniß dieser Bewegung erscheint.

*) Merkwürdig ist, daß ein kleiner Zusatz von Arsenik viel beiträgt, daß das Blei kugelrunde Tropfen bildet.

Dritter Abschnitt.

Von der Bewegung im Allgemeinen.

§. 41. So oft ein Körper in Beziehung auf den Raum, den er ausfüllt, oder den Ort, den er einnimmt, eine Veränderung erleidet, hat eine Bewegung desselben Statt. Das umgekehrte oder das Verbleiben an derselben Stelle nennen wir Ruhe.

Wird ein Körper zusammengedrückt oder dehnt er sich aus, so hat unter den einzelnen Theilen desselben eine Bewegung Statt; wird der ganze Körper bewegt, so bleiben die einzelnen Theile gegeneinander in der nämlichen Lage; dasselbe hat Statt, wenn überhaupt mehrere Körper gemeinschaftlich sich bewegen. Bleibt auf diese Weise ein Körper gegen manche andere und namentlich gegen die umgebenden in derselben Lage, so sagt man in Beziehung auf diese, er sey in relativer Ruhe. So ist Jemand, der in einem Schiffe oder Wagen fährt, in relativer Ruhe, überhaupt aber, d. h. in absoluter Bewegung.

§. 42. Um die Bewegung eines Körpers wahrzunehmen, müssen wir bemerken können, daß er seine Lage gegen andere verändert; können wir dies nicht, so scheint er zu ruhen, wenn gleich er in Bewegung ist.

Sitzen wir in einem verschlossenen Wagen, so mögen wir wohl eine Bewegung fühlen, wir sehen aber nicht, daß wir uns bewegen, weil alle Gegenstände, die wir sehen, ihre Lage gegen uns nicht verändern, und wir bemerken daher kaum, ob wir schnell oder langsam fahren, und vor- oder rückwärts kommen. Ebenso befinden sich alle Körper um uns in scheinbar vollkommener Ruhe, obgleich sich die Erde mit ausnehmender Geschwindigkeit um sich selbst bewegt, und im Weltraume fortrollt, da

alle Dinge auf derselben sich zugleich bewegen, und wir überdies nicht die mindeste Erschütterung fühlen.

Aus ähnlichen Ursachen scheint uns ein hoch in der Luft fliegender Vogel, ein weit entferntes Schiff u. a. unbeweglich. Und wie wir die Bewegung des Stundenzeigers auf einer Uhr nicht wahrnehmen, weil er zu langsam seine Stelle zu andern Punkten ändert, so sehen wir nicht den Mond oder die Sonne fortrücken.

§. 43. Es kann jedoch auch die Bewegung eine scheinbare seyn. Oft nämlich sehen wir wohl, daß Körper ihre Lage zu einander ändern, schreiben aber irrig die Bewegung dem ruhenden zu. Jeder weiß z. B., daß, wenn man in einem Schiffe oder Wagen schnell fährt, das Ufer oder die Bäume rückwärts zu gehen scheinen. *) Das Gefühl macht in diesem Falle, daß wir uns für ruhend halten. Oft scheint der Mond, wenn er hinter dünnen Wolken ist, sich zu bewegen, wenn gleich diese unstreitig in Bewegung sind, weil wir geneigt sind, die Bewegung in zweifelhaftem Falle dem kleinern, oder dem kleiner uns vorkommenden Gegenstande zuzuschreiben. Ebenso ist bekanntlich die tägliche Bewegung der Sonne und Sterne eine scheinbare und eine Täuschung, die daher rührt, daß die Erde sich in derselben Zeit in umgekehrter Richtung um ihre Axe dreht.

Ist man auf offener See, so kann man, wo man nur Himmel und Wasser erblickt, gar nicht sehen, ob das Schiff weiter kommt, weil kein Gegenstand vorhanden ist, der eine Ortsveränderung unterscheiden läßt. Um den Lauf des Schiffs bemerkbar zu machen, wirft man daher den Log, d. h. ein an einer dünnen

*) Die Gegend scheint sich zu drehen; denn in einer gewissen Entfernung scheinen die Gegenstände zu ruhen, und die nähern rückwärts, die entfernten vorwärts zu laufen. In a sehen wir nämlich die Objekte o, p, q (Fig. 6) hintereinander; in b sehen wir, auf p blickend, o links und q rechts abstehend; dünkt uns nun, p sey wie wir selbst stehen geblieben, so scheint uns o rückwärts und q vorwärts gegangen zu seyn.

Schnur befestigtes schwimmendes Brett in das Wasser, das da, wo es hingeworfen wird, still liegen bleibt. Aus der Geschwindigkeit, mit der sich der Log von dem Schiffe entfernt, beurtheilen wir dann die des Schiffes selbst.

Ebenso wird die Bewegung des **Ballons** für einen Luftschifffahrer immer unmerklicher je höher er steigt, weil sich die Lage und die scheinbare Größe der irdischen Gegenstände bei einer großen Entfernung nur sehr langsam verändern. Auch er sucht daher z. B. durch leichte in die Luft geworfene Körper (die in der Luft sich schwebend erhalten) die Bewegung des Ballons wahrnehmbar zu machen.

§. 44. Sehr verschieden sind die Bewegungen hinsichtlich der Geschwindigkeit und der Richtung. (14)

Geschwindigkeit ist ein relativer Begriff. Die Bewegung des Minutenzeigers ist geschwind in Vergleich mit der des Stundenzeigers, sehr langsam gegen die der Unruhe. Um die Geschwindigkeit zu bestimmen, gibt man gewöhnlich den Weg an, den er in 1 Sekunde zurücklegt.

So beträgt die Geschwindigkeit eines (beladenen) Pferdes im Schritt 4 — 6′, im Trapp 10 — 13′, im Galopp 25′, und die eines Wettrenners oft 50 und mehr Fuß. Die eines Windhundes an 80′, eines Adlers an 100′, die eines unbelastet gehenden Mannes 4 — 5′ eines Läufers 12 — 15′, ja im schnellsten Laufe wohl 24′, die einer Flintenkugel 8 — 1200′. Auf dieselbe Weise gibt man auch andere Geschwindigkeiten an. So ist die des Schalls = 1040′; die der telegraphischen Mittheilung oft 20000′. —

Bleibt die Geschwindigkeit dieselbe, so ist die Bewegung eine **gleichförmige**; nimmt sie zu, so heißt sie eine beschleunigte, und nimmt sie ab, eine verminderte oder verzögerte; und Beides kann regelmäßig und unregelmäßig Statt finden.

Eben so mannichfaltig sind die Bewegungen hinsichtlich der **Richtung**. So gibt es gradlinige und krummlinigte, kreisförmige, rotirende Bewegungen u. s. w.; ferner hin und hergehende, schwingende oder vibrirende u. dgl.

§. 45. Jede Bewegung sezt eine Ursache, eine **bewegende Kraft** voraus. Diese Kraft ist entweder eine innere, wie die, wodurch ein lebender Körper sich bewegt, oder eine äußere und dem Körper fremde. In jedem Falle kann man sich die Materie, die bewegt wird, als etwas von der bewegenden Kraft Verschiedenes denken, und jene an sich für völlig passiv ansehen. (15.)

Und daraus folgt nun das sog. **Trägheits- oder Beharrungsgesetz**, oder der Satz: daß jeder Körper so lange im Zustande der Ruhe, sowie in dem der Bewegung verbleiben muß, bis irgend eine einwirkende Kraft ihn in einen andern versezt. Daß kein Körper ohne die Einwirkung einer Kraft in Bewegung komme, bezweifelt Niemand; eben so gewiß ist jedoch, daß auch ein in Bewegung begriffener, ohne die Einwirkung neuer Kräfte nicht sich zu bewegen aufhören oder seine Bewegung verlieren kann. Freilich können wir keinem Körper eine immerwährende Bewegung ertheilen, allein obschon er von selbst zur Ruhe zu kommen scheint, so läßt sich doch immer darthun, daß das Aufhören der Bewegung bloß eine Wirkung von vorhandenen Hindernissen ist. Und nur weil es nicht möglich ist, je alle entgegenwirkende Kräfte wegzuräumen, ist die Herstellung eines sog. perpetuum mobile eine Unmöglichkeit. Ohne Zweifel setzen hingegen die Himmelkörper und so auch unsere Erde, ihre einmal erhaltenen Bewegungen unverändert fort, weil eben hier kein Hinderniß im Wege steht.

Daß indessen jeder Körper, der in Bewegung gesezt worden, sich fortzubewegen strebt, ersehen wir aus unzähligen Erscheinungen. Nicht nur bedarf es immer einer verhältnißmäßigen Kraft oder Anstrengung, um einen sich bewegenden Körper plötzlich zum Stillstand zu bringen, sondern wir sehen oft wie, wenn von zwei gemeinsamlich sich bewegenden Körpern der eine nur angehalten wird, der andere seine Bewegung fortsezt. Spritze ich die Dinte aus der Feder, so geschieht es, indem ich erst beide schnell bewege und dann plötzlich die Feder allein anhalte. Aus gleicher Ursache fällt ein Reiter leicht vorwärts, wenn das Pferd auf einmal stille steht.

§. 46. Die bewegende Kraft wirkt oft auf einen Körper nur augenblicklich, wie beim Stoße, sehr oft hingegen anhaltend.

Jede beschleunigte Bewegung sezt eine anhaltend wirkende Kraft voraus; denn die Geschwindigkeit kann dadurch nur zunehmen, daß fortwährend neue Kraft zu der bereits vorhandenen hinzukommt. Und da kein Körper (auf der Erde) seine Bewegung, ohne Hindernissen zu begegnen, fortsetzen kann, so macht sogar jede ganz gleichförmige Bewegung eine anhaltend wirkende Kraft nöthig. So muß die Uhr mit einer beständig wirksamen Feder versehen seyn, und auf ein Wasserrad oder eine Dampfmaschine fortdauernd die Triebkraft wirken, wenn die Bewegung nicht vermindert werden und in Kurzem aufhören soll.

Die einmalige Einwirkung einer Kraft und hiermit jeder Stoß kann ferner nur eine Bewegung nach einer Richtung oder eine geradlinige erzeugen; denn jede Veränderung der Richtung macht die Wirkung einer neuen Kraft nothwendig. Jede krummlinige Bewegung sezt daher auch die Einwirkung einer anhaltend wirkenden Kraft voraus, weil eine krumme Linie beständig ihre Richtung ändert.

§. 47. Dasselbe Quantum Kraft kann nur eine gewisse Wirkung oder Bewegung hervorbringen. Es wird desto mehr Kraft erfordert, je geschwinder ein Körper sich bewegen soll, oder je mehr bewegliche Theile er enthält, d. i. je größer seine Masse oder sein Gewicht ist. (16) Die erforderliche Kraft wird also durch die Geschwindigkeit und die Masse bedingt, und muß sich daher verhalten wie das Produkt der Geschwindigkeit in die Masse.

Man nennt dieses Quantum Bewegungskraft, die ein Körper besitzen muß, um eine gegebene Bewegung zu erlangen, die Größe der Bewegung, das mechanische Moment, oder die Gewalt desselben, und drückt es gewöhnlich also aus: $q = vm$. *)

---

*) v bezeichnet die Geschwindigkeit, m die Masse (oder das Gewicht) des Körpers.

Um eine 3mal schwerere Kugel 4mal schneller als eine andere zu bewegen, braucht es 12mal mehr Kraft; und ebenso wird jene 12mal mehr Kraft oder Gewalt besitzen als diese, wenn jene 3mal schwerer ist und 4mal schneller sich bewegt. Ist das Gewicht m von a = 6, die Geschwindigkeit v = 10 und das Gewicht von b = 15, die Geschwindigkeit = 4, so ist die Größe der Bewegung von beiden = 60 und also dieselbe.

Ein kleiner Körper kann also, wenn er sich mit einer sehr großen Geschwindigkeit bewegt, eine große Gewalt haben.

§. 48. Auf einen Körper können endlich 2 oder mehrere Kräfte wirken; die Bewegung die daraus erfolgt, heißt eine zusammengesezte.

Um die Wirkung in diesem Falle zu bestimmen, muß man die Größe sowohl als die Richtung der verschiedenen Kräfte berücksichtigen. Durch eine einfache Linie kann man leicht die verhältnißmäßige Größe der Kräfte und (mit Hülfe eines Pfeils) zugleich ihre Richtung ausdrücken.

Wirken 2 oder mehrere Kräfte auf einen körperlichen Punkt ganz in derselben Richtung, so wirken sie unstreitig wie eine einzige Kraft, die der Summe jener einzelnen Kräfte gleich wäre.

Aehnliches hat Statt, wenn zwei Kräfte genau in entgegengesezter Richtung darauf wirken, wie a und b (Fig. 7). Sind sie von ungleicher Größe, so erfolgt eine Bewegung, wie wenn bloß die stärkere nach Abzug der schwächern wirkte. Oder ist a = 6 und b = 4, so ergibt sich eine Wirkung, wie wenn nur a vorhanden, und eine Kraft = 2 wäre. Auch in diesem Falle kann die Bewegung als eine einfache angesehen werden.

Sind beide Kräfte einander gleich, so heben sie sich auf und es hat keine Bewegung Statt. Man sagt in diesen und in allen ähnlichen Fällen, wo die Wirkung mehrerer einander entgegengesezten Kräfte sich aufhebt, daß die Kräfte im Gleichgewicht sind.

§. 49. Eine eigentliche zusammengesezte Bewegung ergibt sich hingegen, wenn die Richtungen von 2 oder mehreren Kräften Winkel bilden; denn der Körper kann dann weder nach

der einen noch in der andern Richtung sich bewegen, sondern er muß eine mittlere Richtung annehmen.

Gesezt n und m (Fig. 8) seyen 2 Kräfte, die zugleich auf den materiellen Punkt p einwirken, und die Linie n und m drücken die Richtung und die verhältnißmäßige Größe der Kräfte aus, so findet man die vereinte Wirkung, wenn man ein Parallelogramm p r s q zeichnet und die Diagonale p p zieht; denn diese Linie wird die sich ergebende Wirkung ausdrücken; oder p sich bewegen, als wenn statt jener beiden Kräfte nur eine Kraft in der Richtung und von der Größe p q darauf wirkte.

Die also gefundene Kraft heißt die resultirende oder die Mittelkraft.

Man sieht leicht, daß sie immer kleiner ist als die Summe beider Kräfte; daß sie um so größer wird, je spitzer, und um so kleiner, je stumpfer der Winkel r s p ist; — daß ferner ihre Richtung nur dann genau in die Mitte fällt, wenn beide Kräfte m und n gleich groß sind u. s. w. Wirken drei oder mehrere Kräfte zugleich, so sucht man zuerst die resultirende von zweien, bestimmt dann die Mittelkraft von dieser und der dritten u. s. f.

Das also gebildete Parallelogramm, um die Wirkung zweier einen Winkel einschließender Kräfte zu finden, nennt man das Kräftenparallelogramm.

Häufig kommen zusammengesezte Bewegungen vor, wie wir namentlich bei der Lehre vom Falle sehen werden. Die Bewegung eines Schiffes, das von beiden Seiten eines Kanals gezogen wird, oder über einen Fluß rudert, oder nach einer Seite vom Winde, nach einer andern durch Ruder getrieben wird, ist eine zusammengesetzte. Es folgt weder der einen noch der andern Kraft, sondern einer mittleren Richtung. Ebenso hat beim Fluge der Vögel oder bei'm Schwimmen eines Menschen eine zusammengesezte Bewegung Statt. Wickelt man einen Körper f (Fig. 9) an einem Faden auf eine Rolle h auf, während diese sich nach i bewegt, so beschreibt f den Weg f i oder die Diagonale des Rechtecks f h i k (in dem er zugleich senkrecht und horizontal bewegt wird).

§. 50. Oft wird es umgekehrt nöthig, die Linie, die eine einfache Kraft bezeichnet, als die Diagonale eines Parallelogrammes zweier Kräfte zu betrachten, wenn man ihren Effekt beurtheilen will. Man sagt dann, daß man jene Kraft in 2 zerlegt. Diese Zerlegung einer Kraft ist zumal nöthig, wenn ein Körper nicht in der Richtung der bewegenden Kraft bewegt werden kann, wohl aber in einer andern.

Gesezt, z. B., der Körper a (Fig. 10) werde von der Kraft a b gezogen, könne aber nur in der Richtung a c weichen, so stellt man sich vor, statt der Kraft a b ziehen 2 Kräfte a d und a e, deren Parallelogramm a b zur Diagonale hat, und die also die gleiche Wirkung hervorbrächten. Von diesen zwei Kräften wird die eine a d ungehindert wirken, die andere a e hingegen gar keine Wirkung leisten können. Man sieht hiermit, daß a sich so bewegen, muß als wenn die Kraft a d allein vorhanden wäre, und wie groß diese allein wirksame Kraft a d ist, wird durch solche Zerlegung der eigentlichen Kraft a b gefunden.

So oft also eine Kraft schief gegen einen Körper zieht oder stößt, geht ein Theil derselben für die Bewegung verloren, und um so mehr, je schiefer sie einwirkt.

Kann der Körper A (F. 11) nur in der Richtung m n weichen, so bringt eine schiefstoßende oder ziehende Kraft a b die Wirkung einer senkrechten a p; die schiefe Kraft a c nur die einer senkrechten a q hervon u. s. w.

§. 51. Eine doppelte Zerlegung ist in folgendem Beispiele erforderlich, um die Wirkung einer Kraft zu finden.

Es sey a b (Fig. 12) die Richtung in der sich ein segelndes Schiff bewegt, s g die Stellung eines Segels und c die Kraft und Richtung des Windes. Da diese schief ist, so wird er als zwei Kräfte c o und o d zu betrachten seyn, und seine Wirkung auf das Segel = o d. Da ferner aber das Schiff nicht in der Richtung o d, sondern in der von a b sich bewegt, so muß die Kraft o d nochmals in die beiden o p und p d zerlegt werden, und p d bezeichnet hiermit die wirksame Kraft des Windes.

Man sieht hieraus, wie in sehr verschiedener Richtung wehende Winde dienen können, um nach einer bestimmten Gegend zu segeln, daß aber immer mehr oder weniger Kraft verloren geht, und daß es überdies nicht wenig auf die Stellung der Segel ankommt, um den möglichst größten Effekt zu erlangen.

Durch eine ähnliche Zerlegung läßt sich zeigen, wie das Steuerruder die Wendung des Schiffes bewirkt.

§. 52. Jede krummlinige Bewegung sezt, wie schon bemerkt wurde, (46) die Zusammenwirkung zweier Kräfte voraus, wovon wenigstens die eine überdies konstant wirken muß. Wie durch solche Kräfte eine kreisrunde Bewegung sogar hervorgehen kann, ist aus Folgendem zu ersehen. Gesezt, man gebe einer in dem Punkte c aufgehängten Kugel einen starken Stoß in der Richtung a b (Fig. 13), so wird sie sich nach b zu bewegen suchen. Da der Faden c a sie aber hindert, sich von c zu entfernen, so wird sie um c sich herumschwingen. Es geschieht dies daher, weil während die Kugel von a z. B. nach e getrieben wird, der Faden sie zugleich nach d zieht, so daß sie den Weg a d beschreiben muß; weil sie ebenso in d angelangt, nicht nach g fortgehen kann, sondern wieder nach f abgelenkt wird u. s. w.

Die Kreisbewegung entsteht also, indem zwei Kräfte wirken, wovon die eine in der Richtung der Tangente (d. h. senkrecht mit dem Radius eines Kreises) die Kugel von dem Centrum forttreibt, die andere hingegen sie fortwährend nach dem Centrum zieht. Man sagt daher, diese Bewegung gehe aus der Wirkung einer Tangential- und einer Centripetalkraft hervor, und nennt die erstere auch die Centrifugal-, Schwung- oder Fliehkraft.

§. 53. So lange die Wirkung beider Kräfte nicht aufhört, wird die Kreisbewegung fortdauern, und hört plözlich nur die eine auf, so wird die Kugel entweder nach Centrum oder nach der Tangente, also in gerader Linie fortgehen.

Dies sieht man auch leicht, wenn man eine Schleuder oder einen an einer Schnur hängenden Stein bei c hält und umschwingt. Durch die schwingende Bewegung des Arms ertheilt man dem

Steine Fliehkraft, denn offenbar treibt diese Bewegung den Stein weg. Die Schnur hingegen hält allein ihn zurück, und wirkt also als Centripetalkraft; hört man zu schwingen auf, so verliert er bald die Bewegung durch den Widerstand der Luft und die Reibung der Schnur p und fällt daher endlich gegen die Erde. Schwingt man ihn immer stärker, so nimmt die Fliehkraft zu und die Schnur wird gespannter, weil der Stein zu der schon empfangenen Kraft noch neue erhält. Läßt man hingegen plötzlich die Schnur loß, so daß die Wirkung der Centripetalkraft aufhört, so wird der Stein, und zwar offenbar in der Richtung der Tangente auf den Punkt, wo er frei wird, fortgeschleudert.

Man kann also sogar ein Glas mit Wasser in einem Kreise herumschwingen, ohne daß das Wasser ausläuft. Ist der Schwung nämlich stark genug, so hat das im Glase enthaltene Wasser mehr Bestreben nach der Tangente sich fortzubewegen als zu fallen, durch die Wände des Glases wird es aber verhindert, in jener Richtung auszufließen.

Auf ähnliche Weise wird die Bewegung des Mondes um die Erde, sowie die der Erde um die Sonne, wenn gleich in länglichrunden oder ellyptischen Bahnen, bewirkt. Eine ursprünglich der Erde vom Schöpfer ertheilte Tangentialkraft bewegt sie unaufhörlich um die Sonne, weil sie zugleich durch die Gravitation gegen diesen ungeheuren Weltkörper angezogen wird. (18)

§. 54. Um endlich die Wirkung richtig zu beurtheilen, die eine bewegende Kraft hervorbringen wird, muß man stets auch die Hindernisse berücksichtigen, die der Bewegung im Wege stehen, oder die Wirkung jener Kraft schwächen müssen. Wie schon bemerkt, sind diese bei allen von uns veranstalteten Bewegungen nie ganz wegzuräumen, und Ursache, daß kein einmal in Bewegung gesezter Körper sich ohne Aufhören fortbewegen kann, wie dies dem Trägheitsgesetze gemäß Statt haben sollte.

Diese unvermeidlichen Hindernisse gehen namentlich aus folgenden Ursachen hervor:

Aus der Rauhigkeit der Körper, die bei der Bewegung sich berühren.

Steht der sich bewegende Körper mit einem andern in Berührung, und sind beide nicht völlig glatt, so werden gegenseitig die Erhabenheiten des einen in die Vertiefungen des andern eingreifen, und wenn jener seine Bewegung fortsetzen soll, muß er über die erhabenen Stellen entweder gehoben werden oder dieselben abreiben. Und beides erfordert einen gewissen Aufwand von Bewegungskraft, die daher für ihn verloren geht. Man nennt dieses erste Hinderniß die Reibung oder Friktion. Offenbar richtet sie sich theils nach der Beschaffenheit der sich berührenden Flächen, theils nach der Größe des Drucks.

Ein ähnliches Hinderniß entspringt aus der Adhäsion solcher sich berührender Körper, die in der Regel um so beträchtlicher ist, je mehr Punkte in Berührung sind, und hiermit eben bei den glättesten Körpern wirksam seyn muß. (32) Diese Adhäsion schwächt besonders die Bewegung der Flüssigkeiten in Kanälen und Röhren. (40)

§. 55. Ein drittes geht daraus hervor, daß jeder Raum, in dem irgend ein Körper sich bewegen soll, mit materiellen Theilen erfüllt ist, die hiermit von ihrer Stelle verdrängt, und also zugleich bewegt werden müssen. Und dafür ist ebenfalls etwas Kraft erforderlich, die der sich bewegende Körper abgeben muß. Gewöhnlich ist der materielle Raum, oder das Mittel, in dem die Bewegung Statt hat, Luft oder Wasser. Das letztere wird die Bewegung ungleich mehr hindern, als jene, weil Wasser ein ungleich dichteres Mittel ist. Die Größe dieses Widerstandes wird aber ferner von der Größe des Körpers (der das Mittel durchschneidenden Fläche) und seiner Geschwindigkeit abhängen. Eine Kugel von 2″ Durchmesser wird bei gleicher Geschwindigkeit 4mal mehr Luft verdrängen müssen, als eine von 1″, weil der Querschnitt 4mal größer ist; da aber das Volum der ersten 8mal größer ist, so erleidet sie verhältnißmäßig nur halb so vielen Widerstand.

Ebenso wird der Widerstand indessen auch im quadratischen Verhältniß der Geschwindigkeit zunehmen, denn wenn dieselbe Kugel zweimal geschwinder die Luft durchschneidet, muß in gleicher Zeit zweimal mehr Luft verdrängt werden, und auch sie zweimal schneller weichen, wozu viermal mehr Kraft erfordert wird.

Klar ist ferner, daß der Verlust verhältnißmäßig um so kleiner ist, je schwerer der Körper ist. Bewegen sich eine bleierne und eine hölzerne Kugel von derselben Größe mit gleicher Geschwindigkeit und ist jene 16mal schwerer, so ist auch die Größe ihrer Bewegung oder ihr Moment (47) 16mal größer. Da nun bei beiden Kugeln der Widerstand der Luft derselbe ist, so erleidet die Bleikugel verhältnißmäßig einen 16mal kleineren Verlust. — Darum kommt eine an einem Faden aufgehängte und schwingende hölzerne Kugel eher zur Ruhe als eine metallene, und darum fallen leichtere Körper langsamer als spezifisch schwerere, ein Stück Blei im Wasser schneller als ein Stein u. s. w.

§. 56. Ein weiteres Hinderniß der Bewegung ergibt sich endlich, wenn gewisse Theile sich zugleich biegen müssen, weil dann der Zusammenhang (oder die Steifigkeit) des Körpers nothwendig einigen Widerstand leistet.

Bei den meisten Bewegungen treten mehrere dieser hindernden Umstände zugleich ein. Bei dem Herumschwingen einer Schleuder z. B. muß 1) die Schleuder die Luft durchschneiden und also ihren Widerstand überwinden, 2) hat da, wo sie gehalten wird, einige Reibung Statt; 3) muß die Schnur oder der Riemen eine gewisse Biegung erleiden, wozu ebenfalls etwas Kraft verwendet werden muß.

Vierter Abschnitt.

Vom Gleichgewicht und der Bewegung der festen Körper insbesondere.

§. 57. Unter festen Körpern (22) verstehen wir solche, deren Theile mehr oder weniger stark zusammenhängen, und die also, wofern keine hinreichende Kraft auf einzelne Theile einwirkt, als unzertrennbar anzusehen sind. Es ist zwar im Vorigen schon oft von Körpern und meist von festen die Rede gewesen, jedoch kamen dieselben gewissermaßen nur als einzelne materielle Punkte in Betracht. Laßt uns nun sehen, unter welchen Bedingungen Körper ruhen oder sich bewegen werden, insofern sie aus vielen Theilen bestehen.

Ohne Zweifel muß der ungleiche Grad ihres Zusammenhangs einen wesentlichen Einfluß auf die Erscheinungen haben, und diese werden sich ganz anders gestalten bei solchen deren Theile unzertrennbar sind oder den festen, und bei solchen, deren Theile durchaus verschiebbar sind, wie bei den flüssigen, ja ganz anders bei den tropfbar-flüssigen und den elastisch-flüssigen.

Diese Untersuchungen machen daher auch eben so viele besondere Theile der Physik aus. Man nennt Statik und Mechanik die Lehren vom Gleichgewicht (oder den Bedingungen für den Zustand der Ruhe) und von der Bewegung der festen Körper; Hydrostatik und Hydraulik, die Lehren vom Gleichgewicht und der Bewegung der tropfbaren Körper; und Aerostatik und Pneumatik jene, welche von den Gesetzen des Gleichgewichts und der Bewegung der elastischen Flüssigkeiten oder den Luft- und Dampfarten handeln.

Wir betrachten hier vorerst nur, welchen Einfluß die Beschaffenheit eines festen Körpers auf die Bedingungen der Ruhe und der Bewegung desselben haben muß.

§. 58. Eine erste Folge der Unzertrennbarkeit ist, daß kein Theil eines festen Körpers ausschließlich sich bewegen oder ruhen kann; und daß alle in Bewegung kommen oder ruhen müssen, wenn irgend ein Theil sich bewegen oder ruhen soll.

Ist daher (Fig. 14) ein solcher Körper a b an irgend einem Theile a so fest gehalten, daß dieser sich unmöglich bewegen kann, so muß der ganze Körper unverändert in seiner Lage bleiben, obschon jeder Theil schwer ist und zu fallen strebt.

Anders verhält es sich, wenn der Körper bei a nur aufgehängt ist. Jeder einzelne Theil n wird dann zwar in gleicher Distanz von a bleiben müssen, alle aber werden gemeinschaftlich wohl der Erde näher kommen können, und der ganze Körper wird sich daher um a drehen bis alle Theile in ihrer Gesammtheit die möglichst tiefste Stelle erlangt haben. Jeder einzelne Punkt n wird von a die tiefste Lage haben, wenn er in n ohne größere Entfernung in senkrechter Linie unter dem Aufhängungspunkte a sich befindet; dürfte man sich daher vorstellen, die ganze Masse und Schwere eines festen Körpers sey in irgend einem Punkte c vereinigt, so würde jener Körper ruhen, wenn dieser Punkt in c″, d. h. in der lothrechten Linie unter a, befindlich ist. Eine solche Vorstellung wird aber thunlich seyn, denn aus wie vielen Theilen ein fester Körper besteht, wovon jeder eine eigene Lage zu erlangen strebt, so wird sich immer das Bestreben von je zweien, und daher zuletzt das von allen auf ein Vereinigtes in 1 Theilchen oder Punkt zurückführen lassen.

In jedem festen Körper findet sich demnach ein Punkt, in dem die respektive Wirkung der Schwere von allen Theilen gewissermaßen konzentrirt ist; und diesen Punkt nennt man Schwerpunkt, und jeder feste Körper muß ruhen, wenn dieser Punkt in lothrechter Linie entweder unter einem Aufhängungs- oder über einem Unterstützungpunkte liegt.

§. 59. Es muß sehr wichtig seyn, zu wissen, wo in jedem Körper der Schwerpunkt liegt. In ganz regelmäßigen findet sich derselbe unstreitig im Mittelpunkte der Masse. Bei einer Kugel, einem Kreise, einem Ringe von gleicher Substanz liegt er im Centrum, bei einem Cylinder oder Prisma im Halbirungspunkte der Axe. Auch für die unregelmäßigsten Körper läßt er sich indessen auffinden, wenn man denselben an zwei verschiedenen Stellen aufhängt, denn er muß da liegen, wo beide Vertikallinien sich durchschneiden.

Ist i k (Fig. 15) die Vertikallinie, wenn man den Körper N in i aufhängt, und m n diese Linie, wenn n in m aufgehängt wird, so muß o der Schwerpunkt seyn, denn dieser Punkt allein liegt in beiden Senkrechten zugleich. Besteht ein Körper aus leichtern und schwerern Theilen, so liegt in der Regel der Schwerpunkt den letztern näher.

Die Berücksichtigung des Schwerpunktes ist zur Erklärung unzähliger Phänomene nöthig. Wir werden später noch darauf zurückkommen. (S. 3te Abth.)

§. 60. Aus der Unzertrennbarkeit der festen Körper ergeben sich ferner besondere Wirkungen, wenn zwei oder mehrere Kräfte einen solchen Körper um einen Punkt zu drehen suchen, oder die Phänomene des Hebels.

Gesezt, zwei gleich schwere Punkte a und b (Fig. 16) befinden sich an beiden Enden einer unbiegsamen, in der Mitte c unterstüzten Linie a b, so werden zwar beide zu fallen streben, keiner aber niedersinken können, weil wegen der Unbiegsamkeit der Linie a b keiner sinken könnte, ohne daß der andere und eben so geschwind stiege.

Eine solche Verbindung heißt ein mathematischer oder ideeller Hebel, und zwar ein gleicharmiger, weil beide als Kräfte wirkende Punkte a und b von dem Stützpunkte c gleich weit entfernt sind.

Denkt man sich die Länge von a b von materiellen Theilen eingenommen, die gleichförmig darauf vertheilt sind, so wird dasselbe Statt finden, da jeder schwere Punkt auf einer Seite mit einem

ähnlichen auf der andern Seite ein Gleichgewicht ist. Man erhält so eine Art Stange (einen physischen Hebel), die ebenfalls in c unterstüzt ruhen muß; und da hiermit c die ganze Last der Stange trägt, und in dem auf c ruhenden Punkte die ganze Last vereinigt erscheint, so sehen wir hieraus noch deutlicher, warum dieser Punkt der Schwerpunkt heißt. (58)

Befestigen wir an beiden Enden einer solchen Stange a b zwei gleich schwere Körper k und l (Fig. 17), so wird ebenfalls ein Gleichgewicht Statt finden müssen.

§. 61. Anders verhält es sich aber, wenn die Gewichte ungleich oder ein Arm länger als der andere ist. Das Gleichgewicht tritt jedoch wieder ein, wenn sich die Gewichte umgekehrt wie die Armlängen verhalten, vorausgesezt, daß die Linie a b selbst ohne Schwere wäre.

Gesezt nämlich, k (Fig. 18) wäre 1′ und l 2′ von c entfernt, so würde, bewegten sie sich, l in entgegengesezter Richtung 2mal mehr Weg machen müssen als k; hätte jedoch k 2mal mehr Gewicht als l, so wäre für beide die Größe der Bewegung oder die Gewalt (47) dieselbe, und hiermit muß in diesem Fall eben so das Gleichgewicht oder Ruhe eintreten.

Ganz dasselbe muß sich ergeben, sezt man an die Stelle eines solchen ungleicharmigen mathematischen Hebels einen physischen, wenn zugleich auf die Entfernung des Schwerpunktes eines jeden Hebelarms vom Stüzpunkte Rücksicht genommen wird. Eben somögen an den Hebelarmen statt der Gewichte irgend andere einander entgegenzielende Kräfte wirksam seyn.

Das Gesez des ungleicharmigen Hebels bleibt immer dasselbe: Gleichgewicht hat Statt, wenn an beiden Armen die Produkte der Armlängen in die Kräfte (oder Gewichte) gleich sind, und Bewegung erfolgt, sobald das eine größer ist.

Gewöhnlich kommt auch bei physischen Hebeln das Gewicht des Hebels selbst — als verhältnißmäßig klein — nicht in Betracht. Fragen wir daher z. B., wie groß die Kraft bei k

(Fig. 19) seyn muß, um eine Last l *) von 300 ℔ zu bewegen, wenn ac = 8″ und cb = 80″, so finden wir, daß k etwas größer als 30 ℔ seyn muß. Denn 8 × 300 = 80 × 30, und bei 30 ℔ Kraft wäre also das Gleichgewicht vorhanden.

§. 62. Das eben Gesagte gilt übrigens auch, wenn der Stützpunkt nicht zwischen der Kraft und Last, sondern an einem Ende des Hebels sich befindet.

Ist wie Fig. 20 k die Kraft und l die Last zwischen k und c, so hat das Gleichgewicht Statt, wenn cl × l = ck × k.

Die Kraft ist bei solchen Hebeln hiemit immer kleiner als die Last, muß aber verhältnißmäßig einen größern Weg zurücklegen.

Ist hingegen, wie Fig. 21, in k die Kraft wirkend und l die Last, so wird k größer als l seyn müssen, l aber um so geschwinder sich bewegen.

§. 63. Man sieht, daß hebelartige Vorrichtungen nicht nur geeignet sind, Kräfte in's Gleichgewicht zu bringen, sondern namentlich auch, um mit irgend einer Kraft eine ungleiche Last zu bewegen, oder mit einer gegebenen Geschwindigkeit eine davon verschiedene hervorzubringen. Es gründen sich daher, sowie die Wagen, so die allermeisten mechanischen Apparate auf das Prinzip des Hebels; und aus ihm lassen sich sogar die Wirkungen aller sogenannten einfachen Maschinen (das Wellrad, die Rolle, die Schraube u. s. w.), aus denen die complizirtesten zusammengesezt sind, herleiten. Da alle diese Gegenstände indessen vornämlich in der dritten Abtheilung dieses Buchs behandelt werden, so beschränken wir uns hier auf diese kurze Erläuterung der Theorie des Hebels.

§. 64. Die Natur der Festigkeit hat endlich drittens noch einen besonders merkwürdigen Einfluß auf die Erscheinung des Stoßes.

Begegnet ein in Bewegung begriffener fester Körper einem andern, so ergibt sich ein Stoß. Beide wirken aufeinander. Trifft

*) Last heißt man nämlich gewöhnlich diejenige Kraft, die überwunden oder bewegt werden soll.

ein sich bewegender Körper auf einen ruhenden, so sucht jener seine Bewegung fortzusetzen, dieser an seiner Stelle zu beharren. Jener wird diesem Bewegungskraft mittheilen, dieser also welche erhalten. Wir sagen in diesem Falle, daß jener stößt, dieser Widerstand leistet; und da beide als feste Körper unzertrennbar bleiben, so müssen alle einzelnen Theilchen gleich viel Bewegungskraft verlieren oder gewinnen.

Es treten hier mancherlei Fälle ein; die Ergebnisse des Stoßens sind nicht nur je nach der Masse der Körper, sondern noch verschieden je nachdem der gestoßene Körper ruht oder auch bereits in Bewegung ist; je nachdem die Richtung des Stoßes durch den Schwerpunkt beider Körper geht oder nicht, und namentlich noch je nachdem die Körper nicht nur fest und hart, sondern zugleich elastisch sind oder nicht.

§. 65. Betrachten wir zuerst den Stoß bei nicht elastischen Körpern, und zwar, wenn er ein centraler ist, d. h. in der Linie der Schwerpunkte Statt hat.

Es seyen a und b (Fig. 22) zwei Kugeln:

Ist a allein in Bewegung und b ruhend, so muß, wenn a an b anstößt, diese gerade soviel Bewegungskraft erhalten, daß beide nun gleich geschwind in derselben Richtung fortgehen können. Die Bewegungskraft des a wird sich also unter beide Massen vertheilen und die Geschwindigkeit im Verhältniß der größern Masse vermindert seyn.

Sind beide Kugeln gleich schwer, so wird die Geschwindigkeit beider nach dem Stoße halb so groß seyn, als die der anstoßenden. Sind sie von ungleicher Größe, so findet jene sich also:

Ist a 8 Pf. und b 5 Pf. schwer, und die Geschwindigkeit von $a = 13$; so ist ihr Moment oder das Quantum ihrer Bewegunskraft $= 8 \times 13 = 104$. Nach dem Stoße haben beide Kugeln dasselbe Moment; ihre gemeinsame Geschwindigkeit wird also, da sie zusammen 13 Pf. wägen $= \frac{104}{13} = 8$ seyn.

Je größer der gestoßene Körper ist, desto kleiner wird die resultirende Geschwindigkeit. Ist b unbeweglich, so ist er als unendlich groß anzusehen; nach dem Stoße müssen also beide ruhig seyn.

Bewegen sich beide Körper und zwar nach einerlei Richtung, so kann nur dann ein Stoß sich ereignen, wenn der vordere langsamer ist. Da beide Bewegungskraft haben, und beide nach dem Stoße auch hier die gleiche Geschwindigkeit haben müßten, so wird diese sich also finden:

Hat der stoßende a ein Gewicht = 5 und eine Geschwindigkeit = 12,

b ein Gewicht = 10 und eine Geschwindigkeit = 4, so ist ihre vereinigte Bewegungskraft = 60 + 40 = 100 und ihre Geschwindigkeit daher $= \frac{100}{15} = 6^2/_3$.

Ein Stoß kann endlich Statt finden, wenn zwei Körper in entgegengesetzter Richtung sich bewegen und begegnen. Würden z. B. obige Kugeln auf diese Weise gegen einander stoßen, so würde vorerst die Kraft der schwächern durch die der stärkern aufgehoben, beiden also nur eine Kraft = 60 — 40 oder 20 übrig bleiben, und beide sich daher in der Richtung der stärkern nach dem Stoße noch mit der Geschwindigkeit von $^{20}/_{15}$ oder $1^1/_4$ fortbewegen.

§. 65. a) Bei elastischen Körpern bringt der Stoß andere Ergebnisse hervor, weil die Elastizität darin besteht, daß die Theile durch den Stoß gegenseitig zusammengedrückt werden, sofort aber wieder in ihre vorige Lage zurückspringen. Dieses Zurückspringen muß gegen den anstoßenden Körper einen Rückstoß zur Folge haben. Sind die Körper vollkommen elastisch, so muß die Zusammendrückung genau im Verhältniß des erlittenen Stoßes seyn, und die Rückwirkung oder der Rückstoß jener und also auch dem Anstoße gleich.

Es ergibt sich daraus die merkwürdige Erscheinung, daß, sind die Massen von gleicher Größe (z. B. elfenbeinene Billardkugeln), sie nach dem Stoße ihre Geschwindigkeit wechseln, und

haben beide sich gegeneinander bewegt, dann auseinander springen. Wir wollen nur einen Fall näher untersuchen.

Gesezt, die Billardkugel a (Fig. 23) stoße mit einer Geschwindigkeit = 10 an die gleich große vorhin ruhende b, so wird a an b die Hälfte ihrer Bewegungskraft abgeben, damit beide mit der Geschwindigkeit = 5 fortlaufen können. Da die anstoßenden Theile aber im Augenblick des Stoßes nicht nur mit derselben Kraft zusammengedrückt werden, sondern auch zurückspringen, so werden beide noch, b gegen a, und a gegen b, einen Rückstoß ausüben, der erstere aber zur Folge haben, daß a eine Geschwindigkeit = 5 — 5 erlangt, d. h. ruht, und daß b eine = 5 + 5 oder 10 erlangt, d. h. mit derselben Geschwindigkeit nun fortgeht, mit der a dagegen anstieß.

Unschwer läßt sich auf ähnliche Weise der Erfolg finden, wenn beide Kugeln in gleicher Richtung oder gegeneinander sich bewegen.

Beim Billardspiel kommen noch mannichfaltigere Stöße vor; die Kugeln können auch schief gestoßen werden, und schief (oder nicht central) gegen einander treffen, oder gegen den Rand (die Bande) anprallen. Im leztern Falle springt die Kugel mit ihrer ganzen Geschwindigkeit zurück, und zwar, stößt sie schief an, so, daß der Abprallungswinkel dem Einfallswinkel gleich ist. Es würde jedoch zu weit führen, alle diese Fälle, oder den Stoß von Kugeln ungleicher Größe hier zu erläutern. Gemeiniglich scheinen zwar die Wirkungen nicht genau mit der Theorie übereinzustimmen, was jedoch nur daher rührt, daß die wenigsten (oder keine) Körper vollkommen elastisch oder unelastisch sind. Ebenso müssen die Phänomene des Stoßes bei mehr oder weniger weichen Körpern abweichend seyn.

§. 66. Bemerkenswerth ist endlich, daß, soll ein gestoßener Körper unzertrennt weichen, die Bewegung, die eine besondere Stelle durch einen Stoß erhält, an alle Theile verbreitet werden muß, und daß diese Mittheilung oder Fortpflanzung nicht augenblicklich vor sich zu gehen scheint. Bei einem sehr schnellen Schlag oder Stoß geschieht daher leicht, daß die Theile, die unmittelbar seine Wirkung erleiden, sich von den übrigen trennen, indem die Zeit zur weitern Mittheilung der Bewegung zu kurz ist. So kommt es, daß ein sehr rascher Schlag gegen die Ecke eines

Steins diese absprengt, während ein stärkerer, aber minder rascher den ganzen Stein erschüttert; daß eine gegen eine Glasscheibe geschossene Kugel sie nur durchlöchert, während ein geworfener Stein die ganze Scheibe zerschmettert. Aus demselben Grunde reißen Stricke &c., die plötzlich angezogen werden.

Legt man auf ein Trinkglas eine Spielkarte und darauf eine Münze, so fällt diese in das Glas, wenn man die Karte wegschnellt, während sie bei minder raschem Wegziehen mit fortgeschoben wird. Ebenso wird, schlägt man mit einem Messer schnell gegen eine Säule von Münzen, die einzelne Scheibe, die man trifft, herausgeschlagen, während bei langsamerem Schlage, weil die Bewegung sich dann den übrigen mittheilt, die Säule umgestürzt wird. Ein in zwei feinen Haarschleifen hängendes Pfeifenrohr kann durch einen raschen Schlag leicht zerbrochen werden, ohne daß die Haare reißen, weil jenes geschehen ist, bevor die Bewegung sich bis zu den Haaren fortpflanzen kann. Daraus erklärt sich auch, daß Schießpulver, das auf einmal detonnirt, zum Sprengen von Felsen weniger tauglich ist, als solches, dessen Masse nicht augenblicklich verbrennt.

Fünfter Abschnitt.

Von den Erscheinungen fallender Körper.

§. 67. Jeder Körper hat ein Bestreben, sich dem Mittelpunkte der Erde zu nähern. Ist er durch keinen andern daran verhindert, so bewegt er sich daher und zwar in gerader Linie gegen diesen Punkt, d. h. er fällt. (19.) Diese gerade Linie nennen wir die senkrechte, lothrechte oder vertikale.

Hängt man einen schweren Körper an einen Faden auf, so bezeichnet der Faden jene Linie; und ein also aufgehängter Körper heißt demnach ein Loth. Sind zwei solche Lothe auch mehrere 1000′ von einander entfernt, so sind beide Linien doch soviel als parallel; denn da die Erde einen Umfang von 9000 Stunden hat, so bilden lothrechte Linien, die 1 Stunde von einander entfernt sind, doch einen Winkel von nur $^{360}/_{9000}$ oder von $^{1}/_{35}{}^{0}$.

Eine Linie oder Fläche, auf welcher jene erstere senkrecht steht, heißt eine wag- oder wasserrechte oder horizontale, und aus demselben Grunde bildet eine sehr ausgedehnte wasserrechte Fläche, z. B. ein See, eine soviel als vollkommene Ebene.

Wir betrachten zuerst die Erscheinungen des freien Falls; dann die Phänomene des Falls auf vorgeschriebenem Wege; endlich diejenigen, wo der fallende Körper zugleich durch eine andere Kraft bewegt wird.

1) Phänomene des freien Falls.

§. 68. Ein Körper fällt frei, wenn er senkrecht durch die Luft oder einen leeren Raum fällt, und keine andere Kraft als die Anziehungskraft der Erde oder die Schwerkraft auf ihn wirkt. Fällt ein Körper durch die Luft, so wird diese in etwas

wohl der Bewegung hinderlich seyn, in den meisten Fällen ist jedoch der Einfluß der Luft von wenig Bedeutung.

Die Geschwindigkeit, mit der die Körper fallen, ist unstreitig durch die Größe der Schwerkraft bedingt, und nur durch die Erfahrung auszumitteln. Diese aber lehrt, daß die Erde so viel Kraft hat, daß ein freifallender Körper in der ersten Sekunde des Falls einen Raum von 15 Par. Fuß (oder 16 engl.') durchfällt.

§. 69. Da die Erde immer dieselbe bleibt und jeder Körper auf derselben ungefähr gleich viel von ihrem Mittelpunkte entfernt ist, so müssen die Körper überall gleich schnell fallen. (19.)

Auf hohen Bergen ist allerdings die Schwerkraft etwas kleiner, ebenso ist sie unter dem Aequator nicht ganz so groß, als in der Nähe der Pole, weil der Erddurchmesser unter dem Aequator etwas größer ist; es ergibt sich daraus aber kein beim gewöhnlichen Falle der Körper merklicher Unterschied.

Ferner müssen auch alle Körper gleich schnell fallen, sie mögen größer oder kleiner, dichter oder lockerer seyn. Es zieht nämlich die Erde jeden materiellen Punkt mit derselben Kraft; und so wenig 10 oder 1000 Soldaten, die miteinander gehen, schneller an einen Ort gelangen, als ein einziger, so wenig werden 1000 materielle Punkte, die zugleich sich bewegen, darum schneller fallen.

§. 70. Nur die Luft kann, insofern sie die Bewegung verzögert, einen Unterschied in manchen Fällen erzeugen. Denn je größer ein Körper bei gleichem Gewichte ist, desto mehr Luft muß er verdrängen, desto mehr Kraft an diese abgeben, und desto mehr also seine Bewegung verzögert werden. Eine Kugel von Holz fällt daher etwas langsamer als eine gleich schwere von Metall; ein Schwamm, eine Feder oder Baumwolle noch langsamer. Eine Stange fällt schneller als eine Kugel von gleichem Gewicht, ein senkrecht stehendes Blech viel schneller als ein flachliegendes — weil im erstern Falle derselbe Körper mehr Luft auf die Seite bewegen muß. Eine große Kugel von gleicher

Materie fällt etwas schneller als eine viel kleinere, weil diese eine verhältnißmäßig größere Oberfläche (und Querschnitt) hat.*) Daher ist begreiflich, daß sehr kleine Körper, wie Sand, Staub u. dgl. oft überaus langsam fallen; und auch dieser Umstand macht, daß solche Theile sich in Flüssigkeiten schwebend erhalten. (33.)

Im luftleeren Raume fallen aber alle Körper durchaus gleich schnell. Eine Feder so geschwind wie ein Goldstück. Alle jene Verschiedenheiten rühren also bloß von der Luft her, die den Fall oft bedeutend verzögert.

§. 71. Ein fallender Körper bewegt sich ferner nicht mit gleichförmiger, sondern mit immer zunehmender Geschwindigkeit. Die Bewegung ist also eine beschleunigte.

Man kann dies schon leicht mit dem Auge wahrnehmen. Jeder weiß auch, daß derselbe Körper um so mehr Gewalt erlangt, je höher er herabfällt. Die Gewalt ist aber ein Produkt der Geschwindigkeit in die Masse; und da diese leztere offenbar die gleiche bleibt, so muß die Zunahme der Gewalt von einer zunehmenden Geschwindigkeit herrühren.

Es ist jedoch auch leicht einzusehen, warum der fallende Körper nothwendig eine beschleunigte Bewegung haben muß. Es wirkt oder zieht nämlich die Schwerkraft beständig, und da ein fallender Körper in jedem Augenblicke, wo die Schwerkraft aufhörte, doch dem Trägheitsgesetz zufolge schon gleichförmig sich fortbewegen würde, so muß er, weil die Schwerkraft beständig fortwirkt, immer mehr Geschwindigkeit erlangen. Es muß aus demselben Grunde auch die Geschwindigkeit ganz regelmäßig zunehmen.

§. 72. Aus dieser Betrachtung lassen sich leicht die Gesetze des freien Falls ableiten, welche auch die Erfahrung vollkommen

*) Eine Kugel von doppeltem Durchmesser hat eine viermal größere Oberfläche und eine achtmal größere Masse. Sie verdrängt also bei achtmal mehr schweren Theilen nur viermal mehr Luft, wenn sie fällt. (55.)

bestätigt, insofern man, wo es nöthig ist, den Einfluß der Luft berücksichtigt.

1) Ist klar, daß ein fallender Körper am Ende der ersten Sekunde eine Geschwindigkeit = 30′ erlangt haben muß.*)

Wir haben gesehen (68), daß er in der ersten Sekunde des Falls einen Weg von 15 Schuh macht. Da nun seine Geschwindigkeit keine gleichförmige ist, sondern beständig und regelmäßig wächst, und da sie ganz im Anfange des Falls = 0 zu setzen ist, so muß sie am Ende = 30′ seyn; denn nur dann ergibt sich eine mittlere von 15′. $\left(\frac{30 + 0}{2} = 15.\right)$

Man kann diesen Satz auf mancherlei Art beweisen; hier dürfte aber diese Folgerung schon hinreichend seyn.

2) In der zweiten Sekunde des Falls macht der Körper einen dreimal größeren Weg oder 45′ und seine Endgeschwindigkeit ist = 60′.

Ist nämlich seine Geschwindigkeit am Ende der ersten Sekunde = 30′, so würde er 30′ in der zweiten durchfallen, wenn auch die Schwere nicht weiter wirkte. Da sie aber beständig und gleichförmig fortwirkt, so muß er offenbar noch um 15′ tiefer oder in der zweiten Sekunde 45′ tief fallen. Und da hiemit die mittlere Geschwindigkeit in der zweiten Sekunde = 45′ ist, im Anfange aber nur = 30′, so muß sie am Ende = 60′ seyn. $\frac{60 + 30}{2} = 45.$

3) Auf dieselbe Weise findet sich, daß der fallende Körper in der dritten Sekunde 5mal, in der vierten 7mal mehr Raum durchfällt, als in der ersten u. s. w., und ebenso, daß die Endgeschwindigkeit immer um 30′ zunimmt, und also ebenfalls im einfachen Verhältniß der Zeit.

4) Man ersieht endlich, daß ein Körper, der zwei Sekunden lang fällt, 4mal mehr Raum durchläuft (15 + 45), als einer, der nur eine Sekunde lang fällt; ebenso daß ein fallender Körper

---

*) D. h. Im lezten Augenblicke des Falls muß er eine solche Geschwindigkeit haben, daß er mit derselben gleichförmig sich bewegend 30′ durchliefe.

in drei Sekunden durch einen 9mal größern Raum fällt u. s. w., daß sich überhaupt die durchlaufenen Räume wie die Quadrate der Zeiten verhalten; und daß also auch einer, der nur $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{3}$ Sekunde lang fällt, einen 4 oder 9mal kleinern Raum durchlaufen muß als in einer ganzen Sekunde.

§. 73. Es ist sehr nützlich und bequem, diese Gesetze durch Buchstaben und Formeln auszudrücken.

Man nenne g den Weg, den ein Körper in dem ersten Zeittheil oder der ersten Sekunde durchfällt, oder die Zahl 15′. *)

t die Anzahl Sekunden, die er fällt,

v die Endgeschwindigkeit (am Ende des Falls),

h die ganze Fallhöhe —

so erhält man die Gesetze in folgenden Formeln:

$$v = 2gt$$

$$h = gt^2$$

$$t^2 = \frac{h}{g} \text{ und } t = \sqrt{\frac{h}{g}}.$$

Ferner ist: **)

$$v = \frac{2h}{t} = \sqrt{4gh} \text{ oder } 2\sqrt{gh}.$$

$$h = \frac{vt}{2} = \frac{v^2}{4g}.$$

$$t = \frac{2h}{v} = \frac{v}{2g}. \quad ***)$$

*) In vielen Werken und so auch in meinem Vademecum des Mechanikers, S. 91, bezeichnet der Buchstabe g den doppelten Fallraum der ersten Sekunde, oder g = 30′ (Fr.).

**) v = 2gt heißt soviel als: Um die Endgeschwindigkeit zu finden, wenn ein Körper t Sekunden lang fällt, multiplizire man die Anzahl Sekunden mit 2mal 15 oder 30. — Jeder sieht aus diesem einzigen Beispiele, wie bequem es ist, so einfach eine solche Regel ausdrücken zu können.

***) Bei engl. Maaßen ist g = 16,1′ und bei rheinländ. = 15,625.

§. 74. Wie sich diese Formeln, die nach den ersten Regeln der Algebra auseinander abgeleitet sind, anwenden lassen, mag aus einigen Beispielen erhellen.

1) Wie viel Zeit braucht ein Körper um 765′ hoch herunter zu fallen (angenommen, daß die Luft gar nicht den Fall verzögerte)?

Hier ist also $h = 765$ und $g = 15$ und wir finden die Zeit aus der Formel $t = \sqrt{\frac{h}{g}}$.

$\frac{765}{15} = 51$ und $\sqrt{51} = 7{,}12$.

Er braucht hiemit etwa $7\frac{1}{8}$ Sekunden Zeit.

2) Welche Endgeschwindigkeit hat ein Körper, wenn er $5\frac{1}{2}$ Sekunden lang fällt?

$v = 2gt$. also $v = 30 \cdot 5\frac{1}{2} = 165$.

3) Welche Endgeschwindigkeit erlangt er, wenn er 360′ hoch fällt?

Es wird also v gesucht, wenn h bekannt ist.

Da $v = \sqrt{4gh}$; so ist hier $v = \sqrt{60 \cdot 360} = \sqrt{21600} = 147$.

4) Wieviel Fuß durchfällt ein Körper in $6\frac{1}{4}$ Sekunden?

Aus $h = gt^2$ erhalten wir hier $h = 15 \cdot \frac{25}{4} \cdot \frac{25}{4} = 586$!

5) Wie hoch muß ein Körper herunter fallen, damit seine Endgeschwindigkeit = 40′ werde?

Hier ist $v = 40$. Aus $h = \frac{v^2}{4g}$ erhält man $h = \frac{1600}{60}$ oder $h = 26\frac{2}{3}$′.

§. 75. Bei allen diesen Berechnungen ist freilich auf den Widerstand des Mittels, d. h. der Materie, durch die der Körper fällt, keine Rücksicht genommen, und fast immer hat allerdings ein solcher Statt. Beim Fall durch die Luft hat dieser jedoch so wenig Einfluß, wenn der Körper ziemlich dicht ist und von keiner sehr ansehnlichen Höhe herabfällt, daß er gewöhnlich vernachlässigt werden kann.

Nur bei einem hohen Falle wird der Widerstand der Luft sehr bedeutend. Regentropfen oder Hagelkörner z. B., die aus einer mehrere tausend Fuß hohen Wolke herabfallen, brauchen

ungleich mehr Zeit, als man nach obigen Regeln findet, und fallen wohl zulezt mit einer ganz gleichförmigen Geschwindigkeit. Die Luft entzieht ihnen nämlich, wenn sie einmal einen gewissen Grad von Geschwindigkeit erlangt haben, in jedem Zeittheile ebensoviel Bewegungskraft, als sie durch die stetige Wirkung der Schwerkraft erhalten. Wäre dies nicht, so würden Regen und Hagel ungleich mehr Schaden anrichten.

Je mehr Luft ein Körper im Verhältniß seines Gewichts verdrängt, desto eher heben jene beiden Wirkungen sich auf. Darauf gründet sich die Anwendung des Fallschirms, um sich von großer Höhe ohne Gefahr herunter zu lassen.

Ungleich langsamer als durch die Luft fällt ein Körper im Wasser, und zwar aus zwei Ursachen. 1) Weil das Wasser ohne Vergleich mehr Kraft braucht, um dem Körper auszuweichen, und 2) weil (wie wir später sehen werden) jeder Körper im Wasser von seiner Schwere verliert.

Umgekehrt ist der Fall um so ungehinderter, je dünner die Luft ist.

2) Erscheinungen des Falls auf vorgeschriebenem Wege.

a) Vom Fallen auf einer schiefen Fläche.

§. 76. Legt man eine Kugel auf eine schiefliegende Fläche, so kann sie zwar fallen, aber nicht senkrecht, sondern nur längs der schiefen Fläche. Die Bahn ist also eine vorgeschriebene. Jeder weiß, daß sie auf dieser dann langsamer fällt, und um so langsamer, je mehr sich die Fläche der Horizontalebene nähert.

Auf folgende Weise läßt sich einsehen, in welchem Verhältniß die Geschwindigkeit vermindert wird.

ac (Fig. 24) sey eine schiefe Fläche, und d ein schwerer Punkt auf derselben, der, wenn er senkrecht fallen könnte, in einer Sekunde bis e fiele. Da er nicht senkrecht, sondern nur in der Richtung ac fallen kann, zerlege man die Kraft = de oder

stelle sich vor, statt der einzigen Kraft, die senkrecht wirkt, seyen die beiden df und dg vorhanden, die die gleiche Wirkung hätten, und wovon die eine d in der Richtung ac bewegte, die andere dg hingegen, weil sie senkrecht gegen ac wirkt, für den Effekt verloren ist. Aus dieser Construktion folgt aber, daß der Punkt in derselben Zeit, wo er nach e käme, nach f fallen wird, und hiemit, daß die Geschwindigkeit im Verhältniß von df : de vermindert wird.

In der zweiten Sekunde wird er einen Weg = 3df machen ꝛc. und die Bewegung hiemit nach demselben Gesetze beschleunigt seyn.

Da ferner die Dreiecke dfe und abc einander ähnlich sind, so verhält sich df : de wie ac : ab. Man sieht hiemit, daß sich die Geschwindigkeit vermindert im Verhältniß der Länge (der schiefen Fläche) zur Höhe derselben.

Gesezt also, auf einem schiefen Wege betrage die Steigung $^1/_{12}$, so wird ein darauf herabfallender Körper in der ersten Sekunde $^{15}/_{12}$′ oder 15″ fallen, in der zweiten 45″, in der dritten 75″ u. s. w., vorausgesezt, daß keine Reibung vorhanden wäre.

§. 77. Ist die Fläche recht glatt und der aufgelegte Körper eine schwere, ebenfalls ganz glatte Kugel, so ist die Reibung als null zu betrachten, und man kann auf diese Weise sehr leicht die Gesetze des Falls beobachten.

Ist z. B. die Fläche 16′ lang und das eine Ende nur um 1′ erhöht, so wird eine Kugel 4 Sekunden brauchen, um die ganze Länge zu durchfallen, und in der ersten Sekunde 1′, in der zweiten 3′, in der dritten 5′ und in der vierten 7′ zurücklegen.

Oft bringt die Reibung eine bedeutende Verzögerung hervor. Immerhin erlangt ein Wagen, oder ein Schlitten, der auf einem langen Abhange herunter fährt, bald eine sehr beträchtliche Geschwindigkeit.

§. 78. Ist die Schwerkraft so sehr vermindert, daß die Reibung des Körpers größer ist, so kann dieser gar nicht fallen. Man erlangt dadurch ein Mittel, die Reibung zu messen.

Gesezt nämlich, ein flacher Körper (ein Würfel z. B.) könne, ohne zu rutschen, auf eine schiefe Fläche gelegt werden, die 6mal länger als hoch ist, so muß die Reibung wenigstens $\frac{1}{6}$ des Gewichts betragen; denn auf einer solchen Ebene wird die Schwerkraft auf $\frac{1}{6}$ vermindert, so daß er noch $\frac{1}{6}$ seines Gewichts behält.

Da endlich ein Körper, wenn er auf einer schiefen Ebene aufliegt, gleichsam von seiner Schwere verliert, indem die Fläche einen Theil seines Gewichts trägt, so muß er auch auf einer solchen leichter festgehalten oder sogar aufwärts bewegt werden können, als wenn er gar nicht unterstüzt ist. Schiefe Flächen dienen daher auch, wie wir sehen werden, als Bewegungsmittel oder Maschinen. (S. 3te Abth.)

b) Von den Pendelbewegungen.

§. 79. Rollt eine Kugel längs einer schiefen Fläche herab, so wird sie, gelangt sie sodann auf eine horizontale, auf dieser fortlaufen, und zwar mit der am Ende des Fallens erlangten Geschwindigkeit, bis die Reibung oder andere Hindernisse sie zum Stillstand bringen. Sie wird sogar vermöge der erlangten Kraft im Stande seyn, eine schiefe Ebene mehr oder weniger heranzusteigen.

Dasselbe wird geschehen, wenn die Kugel auf einer gekrümmten Fläche ab (Fig. 25) herabrollt; sie wird von b nach c aufwärts laufen, und wenn die Reibung keinen Einfluß hätte, soweit, bis die Wirkung der Schwere, die sie wieder herabzieht, ihre aufsteigende Bewegungskraft aufgehoben hat. Ja, aus der Folge wird erhellen, daß, wäre keine Reibung da, sie gerade eben so hoch ansteigen müßte, als sie herabgefallen ist; und daß sie also, da sie nun wieder zurückfällt, unaufhörlich von a nach c und von c nach a hin und her rollen würde.

Aehnliches hat Statt, ist ein schwerer Körper c (Fig. 26) an einem festen Punkte o aufgehängt, und wird derselbe aus der lothrechten Lage nach a gehoben. Er wird fallen, aber

obschon er auf keiner krummen Fläche aufliegt, wird doch seine Bahn ein Kreisbogen seyn; weil der Faden oa ihn beständig in der gleichen Entfernung von o zurückhält. Seine Bahn ist also ebenfalls eine vorgeschriebene.

§. 80. Ein dergestalt aufgehängter Körper heißt ein Pendel, und seine Hin- und Herbewegungen nennt man Pendelschwingungen. Eine einzelne Bewegung von a bis c oder von c bis a heißt eine einfache Schwingung; ein Hin- und Hergang, d. h. von a nach c und wieder zurück eine doppelte Schwingung oder Oszillation. Das Kreisstück ac, das der schwingende Körper durchläuft, heißt der Schwingungsbogen.

Ist der Körper a von einer spezifisch schweren Materie (von Metall) und von linsenförmiger Gestalt, so schwingt ein solches Pendel ziemlich lang; allmählig kommt es aber dennoch in Ruhe, weil die Luft doch einigen Widerstand leistet, und der Faden stets einige Reibung erfährt.

§. 81. Die Pendelschwingungen sind sehr merkwürdigen Gesetzen unterworfen, die hier inzwischen der Kürze wegen nur angezeigt werden können.

Theorie und Erfahrung lehren nämlich:

1) Daß gleich lange Pendel in derselben Zeit gleich viele Schwingungen machen, von welcher Masse der Körper ist, und von welcher Größe der Schwingungsbogen. *)

2) Daß die Zahl der Schwingungen im umgekehrten Verhältniß steht zum Quadrat der Länge, d. h., daß ein 4 oder 9mal längeres Pendel 2 oder 3mal langsamer schwingt.

3) Daß das Pendel 36¾″ (fr.) lang seyn muß, damit es in einer Sekunde eine einfache Schwingung mache. Ein solches Pendel heißt daher ein Sekundenpendel.

Ein ganz genaues Sekundenpendel darf indessen nicht überall dieselbe Länge haben; denn da die Bewegungen von der

*) Nur bei sehr großen Bogen ist die Zeit merklich größer.

Schwerkraft erzeugt werden, und diese unter dem Aequator etwas schwächer, den Polen zu etwas stärker wirkt, als unter unserer Breite, so muß das Pendel dort etwas kürzer, hier etwas länger seyn. Unter dem Aequator beträgt die genaue Länge $439\frac{1}{5}'''$; unter dem 60sten Grad $441'''$ und unter dem 45sten $440\frac{2}{5}'''$ (fr.).

Gibt man einem gehenden Pendel einen Stoß, so macht es nicht mehr, sondern bloß größere Schwingungen.

§. 82. Das Pendel gibt ein treffliches Mittel, um die Zeit abzutheilen und zu messen, und wird daher in den Uhren vielfach angewendet.

Soll das Pendel in einer halben Sekunde einen Schwung machen, so muß es 4mal kürzer oder $9\frac{3}{16}''$ lang seyn, soll es drei Schwingungen per Sekunde machen $4\frac{1}{12}''$.

Soll es umgekehrt in zwei Sekunden nur eine Schwingung machen, so wird die Länge $12\frac{1}{6}'$ seyn müssen.

§. 83. Ueberhaupt kann aber jeder Körper in eine pendelartige Bewegung versezt werden, wenn er an einem Punkte aufgehängt und in eine Lage gebracht wird, daß sein Schwerpunkt nicht vertikal unter jenen Punkt fällt.

Wird z. B. die Stange ab (Fig. 27) an einen durch a gehenden Stift aufgehängt und in die Lage ab gebracht, so macht sie Schwingungen wie ein Pendel. Sie schwingt aber geschwinder als ein einfaches Pendel von der Länge ab, und langsamer als eines, das $\frac{1}{2}$ ab lang ist, wenn gleich der Schwerpunkt der Stange in der Mitte oder in c liegt.

Es rührt dies daher, daß 1) jeder einzelne schwere Punkt der Stange, je nachdem er a näher liegt, schneller schwingen sollte; und 2) daß die Zahl der Schwingungen nicht im einfachen Verhältniß der Kürze, sondern in dem ihrer Quadratwurzeln größer seyn sollte. Da alle Punkte gezwungen sind, gleich viel Schwingungen zu machen, so müßte die Schwingung der untersten Punkte etwas beschleunigt und die der obersten verzögert

werden, und da der Schwerpunkt e, obschon er in der Mitte liegt, lange nicht 2mal geschwinder schwingen sollte, als der Punkt b, so beschleunigt die obere Hälfte der Stange ihren Schwung lange nicht so sehr, als die untere ihn verzögert.

Schwingt die Stange gerade so schnell wie ein einfaches Pendel ad, so nennt man den Punkt der Stange, der so weit als d von a absteht, das Centrum der Schwingung.

Dieses Centrum läßt sich leicht durch Versuche finden, so unregelmäßig der Körper gestaltet ist.

Hängt man z. B. den Körper N (Fig. 28) bei a auf, und findet man, daß er in einer Minute 90 Schwingungen macht, oder in einer Sekunde $1\frac{1}{2}$ Schwingung, so berechnet man die Pendellänge für diese Geschwindigkeit.

Damit ein Pendel $1\frac{1}{2}$mal mehr Schw. mache, muß es $1\frac{1}{2}^2$ oder $\frac{9}{4}$mal kürzer seyn; das Schwingungscentrum liegt also um $\frac{4}{9} \times 36\frac{3}{4}''$ oder $16\frac{1}{3}''$ unter a.

Für den Mechaniker ist es oft von Wichtigkeit, den Mittelpunkt der Schwingung bestimmen zu können.

§. 84. Körper, die auf diese Weise pendelartig sich bewegen, heißen zusammengesezte Pendel; und man sieht leicht, daß im Grund jedes Pendel ein zusammengeseztes ist, denn es besteht immer aus mehreren Theilen, die nicht gleich weit vom Aufhängungspunkte entfernt sind. Ist jedoch der Faden oder der Stab, an dem der Körper hängt, sehr dünn, und er selbst klein, so kann er als einfaches Pendel betrachtet werden.

Von der Anwendung der Pendelgesetze wird später noch die Rede seyn. Hier nur eine:

Hängt an einer langen Schnur ein schwerer Körper, ein Leuchter z. B., so wird man, wenn man ihn pendelartig schwingen läßt, und die Schwingungen zählt, die Höhe, von der er herabhängt, berechnen können. Gesezt nämlich, er mache in einer Minute 15 Schwingungen, oder eine in vier Sekunden, so wird diese Höhe c^a 4·4 × 37'' oder c^a 48' betragen müssen. Macht

er eine Schwingung in sechs Sekunden, so hinge er 6^2 oder $36 \times 3' = 108'$ hoch.

Will man Viertelsekunden zählen, so hänge man eine kleine Bleikugel an einem $2\frac{1}{4}''$ langen Faden auf.

3) Von der Bewegung geworfener Körper.

§. 85. Wird ein Körper geworfen, während er in Folge der Schwerkraft fallen kann, so ist seine Bewegung eine zusammengesezte, indem zugleich zwei Kräfte auf ihn wirken.

Nimmt man an, daß die Luft keinen Widerstand leistet, oder ist dieser unbedeutend, so daß die ursprüngliche Geschwindigkeit unverändert bleibt, so ist die Bahn eines geworfenen Körpers leicht zu bestimmen, sobald die anfängliche Geschwindigkeit und die Richtung des Wurfs bekannt sind.

Es hat dann nämlich Folgendes Statt:

1) Wird ein Körper senkrecht und abwärts geworfen, so fällt er um die Geschwindigkeit des Wurfs schneller, als er sonst fallen würde.

Gesezt z. B., durch den Wurf allein erlangte er eine Geschwindigkeit von 20′ per Sekunde, so fällt er in der ersten Sekunde durch $20 + 15 = 35'$, in der zweiten durch $20 + 45 = 65'$ u. s. w.

§. 86. 2) Wird ein Körper senkrecht aufwärts geworfen, so wird er zuerst steigen und dann wieder fallen, und zum Steigen und Zurückfallen gleich viel Zeit brauchen, und am Ende des Fallens dieselbe Geschwindigkeit haben, mit der er aufstieg.

Gesezt nämlich, der Körper werde mit einer Geschwindigkeit $= 90'$ per Sekunde geworfen, so wird er in jeder Sekunde diesen Weg zurückzulegen streben. Allein in der ersten Sekunde fällt er zugleich um 15′ — er steigt also nur um 75′, in der zweiten fällt er um 45 — und steigt also nur um $90 - 45 = 45$, in der dritten fällt er um 75′ und steigt also um $90 - 75 = 15'$, in der vierten fällt er um 105′ und fällt also um 15′ mehr, als

er zu steigen sucht; ebenso fällt er in der fünften Sekunde um 45′ mehr und in der sechsten um 75′ mehr.

In den drei ersten Sekunden steigt er also um 75 + 45 + 15 = 135′ und fällt in den drei lezten ebenfalls um 135′. Er erreicht hiemit wieder die Erde, und braucht zum Fallen eben so viel Zeit als zum Steigen. Ferner ist die Endgeschwindigkeit, die ein fallender Körper in drei Sekunden erlangt (73) = 2gt oder 30 × 3 = 90′, sie ist hiemit gerade so groß als die, mit der er in die Höhe geworfen wurde.

Dasselbe Resultat ergibt jede andere Geschwindigkeit, die man annimmt, vorausgesezt immer, daß die Luft soviel als keinen Widerstand leiste.

Man kann demnach aus der Zeit, die verfließt, leicht die Geschwindigkeit berechnen, mit der ein Körper geworfen wurde, und die Höhe, zu der er gestiegen seyn muß.

Gesezt nämlich, eine Kugel fiele fünf Sekunden, nachdem sie geworfen worden, wieder zur Erde, so hat sie $2\frac{1}{2}$ Sekunde zum Fallen gebraucht. Wenn aber $t = 2\frac{1}{2}$, so ist $h = gt^2$ (§. 73) oder $15 \times \frac{5}{2} \times \frac{5}{2} = 93\frac{1}{4}'$ und $v = 2gt$ oder $30 \times 2\frac{1}{2} = 75$. Sie muß also $93\frac{3}{4}'$ hoch gestiegen und mit 75′ Geschwindigkeit geworfen worden seyn.

§. 87. 3) Wird ein Körper in horizontaler Richtung geworfen, so muß seine Bahn durch die Schwerkraft in eine krummlinigte, gegen die Erde sich neigende verwandelt werden, die man eine parabolische nennt.

Der Körper wird nämlich zugleich fallen, und zwar in der ersten Sekunde um 15, in den zwei ersten um 60′ u. s. w. oder überhaupt in den zwei ersten Zeittheilen 4mal, in den drei ersten 9mal so tief als in dem ersten. –

Gesezt also, A (Fig. 29) werde horizontal nach B geworfen, und so geschwind, daß er in jedem Zeittheile einen gleichen Weg

Aa, ab, bc u. s. w. zurücklegte, und er fiele im ersten Zeittheile bis a′, so fällt er im zweiten bis b′ = (4aa′), im dritten bis c′, im vierten bis d′ u. s. w., er beschreibt also eine krumme Linie, die sich im Verhältniß der Quadrate von der geraden AB entfernt, und eine solche Linie heißt eine Parabel. *)

Eine krummlinigte Gestalt dieser Art hat ein Wasserstrahl, der aus einer wagrechten Röhre hervorfließt; leicht läßt sich aber auch diese krummlinigte Bahn wahrnehmen, wenn man eine Kugel aus verschiedener Höhe über eine schiefe, am Ende wagrecht auslaufende, Fläche herabfallen läßt.

§. 88. 4) Wird endlich ein Körper schief in die Höhe geworfen, so beschreibt er ebenfalls einen parabolischen, jedoch doppelt gekrümmten Bogen.

Gesezt nämlich, eine Kugel a (Fig. 30) werde von a in der Richtung ax geworfen, und so, daß sie in jedem Zeittheil einen Weg = ab, bc ꝛc. durchlaufen könnte, so wird sie, wenn sie im ersten Zeittheil um aa′ fällt, nach a′, im zweiten nach b′, im dritten nach c′ ꝛc. gelangen, und hiemit eine krumme parabolische Linie beschreiben.

Berührt sie bei z wieder die Horizontalebene, von der sie aufstieg, so heißt die Entfernung az die Wurfsweite.

az ist am größesten, wenn ax mit az einen Winkel von 45° macht. Bei einem größern Winkel steigt der Körper zwar höher, er berührt aber in minderer Entfernung von a den Boden.

Bei gleich großen Winkeln über oder unter 45° (z. B. bei 50° und 40°) wird az gleich groß.

Eine solche bogenförmige Gestalt hat z. B. ein Wasserstrahl, der aus einer schiefliegenden Röhre hinausschießt.

---

*) Aus dem Obigen erhellt auch, daß ein Stein, der z. B. von einer Höhe von 60′ horizontal geworfen wird, in derselben Zeit, nämlich in zwei Sekunden, zur Erde gelangt, er mag mit großer oder mit geringer Kraft geworfen seyn.

Werfen wir einen Stein oder Ball, so daß er einen größern oder kleinern Bogen beschreibt, so ist die Krümmung der Bahn doch stets eine Wirkung nur der Schwerkraft. Wir können dem Stein nur eine Bewegung in gerader Linie ertheilen, und bloß die Geschwindigkeit abändern. Daß es der Hand selbst unmöglich ist, eine Krümmung zu bewirken, sieht man schon daraus, daß Niemand einen Stein so werfen kann, daß er eine unterwärts gebogene krumme Linie, oder daß er auf einer ebenen Fläche eine krumme Linie beschreibe.

§. 89. Besonders wichtig ist die Lehre von der Wurflinie, um die Bahn abgeschossener Kugeln zu bestimmen. Auch sie beschreiben Parabeln, obgleich sie wegen der großen Geschwindigkeit in beträchtlichen Längen fast geradlinigt erscheinen. Eine Flintenkugel hat anfangs oft eine Geschwindigkeit von 800 — 1200′, und eine Kanonenkugel, eine von 1500 — 1800′. Schießt man also mit einer Flinte 2 — 300′ weit, so macht die Kugel diesen Weg in 1/4 Sekunde, und fällt in dieser Zeit nur um etwa 1′. Eben wegen dieser ausnehmenden Geschwindigkeit wird indessen der Widerstand der Luft sehr beträchtlich, so daß die Bewegungen solcher Kugeln gar sehr von denen abweichen, die sich aus den vorstehenden Regeln ergeben.

§. 90. Aehnliche zusammengesezte Bewegungen haben noch in andern Fällen Statt.

Wirft Jemand, der auf einem fahrenden Schiffe oder in einem Wagen steht, einen Ball gerade nach einem Ziel, so wird er dieses nicht treffen; denn der Ball hat auch die Bewegung des Schiffes oder Wagens in sich; und macht dieser also, während der Ball nach dem Ziel fährt, 5′ Weg, so muß er in derselben Richtung um 5′ seitwärts gelangen.

Ebenso fällt ein Stein, den man z. B. vom Mastbaum herunterfallen läßt, nicht wirklich senkrecht, obschon er also zu fallen scheint.

Und noch zusammengesezter ist die Bewegung eines Balls, den z. B. ein Bereiter senkrecht in die Höhe wirft und wieder

auffängt. Sie ist offenbar das Produkt von drei Kräften, der Wurfkraft, der Schwere und der Bewegungskraft des Pferdes. Leicht ist auch zu begreifen, warum diese Künste am besten gelingen, wenn das Pferd beständig angetrieben wird, so daß die Bewegung gleichförmig und nicht erschütternd ist.

So wie indessen der Bereiter viele Künste nur dadurch ausführen kann, daß er die schnelle Bewegung des Pferdes in sich hat, so wird diese auch sehr gefährlich für den z. B., der aus einem schnell fahrenden Wagen springt, denn unwillkührlich wird dadurch sein Körper vorwärts getrieben. Man muß daher rückwärts springen, wenn man sich nicht entschließen kann, sitzen zu bleiben.

Sechster Abschnitt.

Von den tropfbarflüssigen Körpern.

§. 91. Eine Menge Körper kommen in tropfbarflüssiger oder liquider Form vor. Liquid sind, ausser dem Wasser, die Oele, der Weingeist, die meisten Säuren, die Milch, das Blut, das Quecksilber u. a. m. Wie bei den festen Körpern, so kommt auch bei den liquiden jedoch in der Physik die Verschiedenheit ihrer Substanz nur insofern in Betracht, als dieselbe mehr oder weniger spezifisches Gewicht hat. Eben ihre flüssige Natur aber, d. h. die ungemein leichte Verschiebbarkeit ihrer Theile, gibt denselben mehrere gemeinsame und von den festen Körpern verschiedene Eigenschaften, so daß die Lehre vom Gleichgewicht, sowie die von der Bewegung der Flüssigkeiten (unter dem Namen Hydrostatik und Hydraulik) eine besondere Behandlung nöthig macht.

§. 92. Aus jener Verschiebbarkeit folgt nämlich:

1) Daß Flüssigkeiten keinen eigentlichen Schwerpunkt haben, indem jeder Theil unabhängig von den übrigen der Schwerkraft, sowie jeder andern Kraft, die auf ihn einwirkt, folgen kann.

2) Daß alle diese Flüssigkeiten die Form der Gefäße annehmen, in denen sie enthalten sind, und daß im Zustande der Ruhe ihre Oberfläche eine wagrechte seyn muß; denn jeder Theil strebt, als schwer, der Erde möglichst nahe zu kommen, und kann, als verschiebbar, wenn er zu hoch liegt, sofort eine tiefere Stelle einnehmen. *)

*) Darauf beruht der Gebrauch der bekannten Wasserwage (eine Glasröhre mit gefärbtem Wasser und einer Luftblase) zum Nivelliren.

3) Daß jeder Theil einer Flüssigkeit, der einen Druck ausübt, diesen nicht in einer Richtung nur, sondern auch seitwärts ausübt. Drückt man z. B. (Fig. 31) mit einem Stempel a auf eine in dem Stiefel b eingeschlossene Flüssigkeit, so wird diese, wo immer eine kleine Oeffnung angebracht wird, durch dieselbe herausgesprizt werden. Ebenso wird die in einem Gefäße enthaltene Flüssigkeit vermöge ihrer Schwere nicht nur auf den Boden des Gefäßes, sondern auch auf die Seitenwände drücken.

§. 93. Es erklärt sich aus diesen wesentlichen Eigenschaften der Flüssigkeiten vorerst ihr Verhalten in zusammenhängenden Gefäßen oder communizirenden Röhren.

Sind zwei oder mehrere Röhren a, b, c (Fig. 32) in Verbindung, und schüttet man in die eine Wasser, so wird dasselbe in allen bis zu derselben Höhe mn aufsteigen, welche Form, Neigung und Weite die Röhren auch haben mögen. Der Wasserstand oder das Niveau muß in allen dasselbe seyn oder in einer wagrechten Ebene liegen. *)

Es kann hiemit in communizirenden Röhren eine kleine Wassermenge einer weit größern das Gleichgewicht halten, wenn diese in einem um so weitern Schenkel enthalten ist. Ist der Querschnitt der Röhe a 16mal größer als der von b (Fig. 33), so hält das Wasser in b einer 16mal größern Menge in a das Gleichgewicht. **)

Würde man den einen Schenkel, bei c z. B., wegschneiden, so muß das Wasser so lange hier ausfließen, bis es auch in a nicht höher steht.

Und wollte man das Ausfließen aus dem kürzern Schenkel durch einen Deckel z. B. hindern, so müßte dieser mit einem

*) Nur wenn eine Röhre sehr enge ist, steigt das Wasser darin wegen der Capillarattraktion (37) etwas höher.

**) Daher kann man durch einen geringen Druck mit dem Finger auf eine kleine Oeffnung das Ausfließen des größten Fasses hindern.

Gewichte beschwert werden, das dem Gewichte der fehlenden Wassersäule gleich kommt.

Gesezt, die Säule bc wäge ein Pfund, so könnte ein Druck von 1 Pf. auf die Oeffnung c das Ausfließen der 16 Pf. Wasser aus a hindern. Umgekehrt müßte man aber, würde die Röhre a bei d verkürzt, auf d einen Deckel mit 16 Pf. Druck anbringen, um das Ausfließen der Wassersäule bc zu verhindern.

§. 94. Man sieht daraus, wie eine geringe Menge Wasser in einer engen aber hohen Röhre einem sehr bedeutenden Gegendrucke das Gleichgewicht halten kann. Und in der That, bindet man z. B. über die kurze, aber weite Röhre n (Fig. 34) eine Blase b, und füllt man darauf die hohe und enge Röhre p mit Wasser, so wird die Blase in die Höhe getrieben, und ein darauf gelegtes beträchtliches Gewicht sogar etwas gehoben werden.

Wäre nämlich der Querschnitt von n = ¼ □′, und qr = 4′, so fehlte über n eine Wassersäule von 4′ Höhe und ¼ □′ Durchschnitt, hiemit von 1 Cub.′ Inhalt oder 70 Pf. Gewicht. Und betrüge die Wassermenge in p nur 1 Pf., so würde dieses hier einem Druck von 70 Pf. das Gleichgewicht halten. Dieses merkwürdige Resultat kommt jedoch vollkommen mit den Wirkungen des Hebels überein, wo ebenfalls ein kleines Gewicht an einem 70mal längern Arme einem 70mal größern das Gleichgewicht hält. Und so wie hier, soll eine wirkliche Bewegung erfolgen, das kleinere Gewicht einen 70mal größern Weg machen muß, so auch bei jenem Gefäße. Soll b um 1‴ gehoben werden, so muß offenbar eine 70‴ hohe Wassermenge in p sinken, und eine Wassersäule von dieser Höhe also wieder in p erſezt werden.

Dieselbe Wirkung zeigt sich, wenn man auf ein mit Wasser gefülltes Faß x (Fig. 35) eine hohe, enge Röhre yz schraubt, und auch diese mit Wasser füllt. Ist der Boden 2 □′ groß, und ist yz 6′ hoch, so übt das Wasser in dieser Röhre einen Druck aus, der einem Gewicht von 12 Cub.′ Wasser oder 840 Pf. gleich kommt, und der mit dieser Kraft von unten gegen den obern Boden des Fasses wirkt, und leicht dasselbe zersprengen mag.

Von einigen wichtigen Anwendungen dieses Prinzips wird später die Rede seyn.

§. 95. Enthalten die beiden Röhren m und n hingegen Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischem Gewichte, so werden die Säulen in beiden eine verschiedene Höhe haben. Sie werden sich umgekehrt wie die spezif. Gewichte verhalten.

Ist in m eine Salzauflösung, und in n Weingeist, und verhält sich das spezif. Gewicht der erstern zu dem des Weingeists wie 3 : 2, so ist die Höhe in n $= 1^1/_2$ m.

Wäre in m Quecksilber und in n Wasser, so würde die Wassersäule in n etwa $13^1/_2$mal höher seyn, als die Quecksilbersäule in m. Enthält die eine heisses und die andere kaltes Wasser, so wird sich die warme etwas höher zeigen.

§. 96. Aus diesem Verhalten der Flüssigkeiten in communizirenden Gefäßen oder Röhren gehen viele Erscheinungen in der Natur und mancherlei Anwendungen hervor. Hier nur einige Beispiele:

Steigt das Wasser in einem Flusse oder Kanal, so füllen sich oft in ziemlicher Entfernung Keller mit Wasser — weil leicht zwischen beiden unter der Erde einige Verbindung Statt hat. Und ebenso entstehen die meisten Quellen durch eine ähnliche unterirdische Communikation mit Orten, wo sich Wasser ansammelt.

Steht eine kleine Oeffnung x (Fig. 37) in Verbindung mit einer weit höher stehenden Wassermasse A, so sprizt das Wasser (als Fontaine) aus derselben hervor und fast bis zur Höhe a. Das Wasser in A strebt nämlich bis b zu sinken, und hat daher bei b und ebenso bei x dieselbe Geschwindigkeit, die ein von a frei herabfallender Körper erlangen würde. Und bei dieser Geschwindigkeit würde jeden aus x ausfließende Tropfen genau bis in die Höhe von a aufsteigen (§. 86.), wenn nicht die Bewegung des Wassers in der Röhre selbst, sowie in der Luft, und die zurückfallenden Wassertheile hinderlich wären.

Will man zu jeder Zeit erkennen, wie hoch z. B. der Wein in einem Fasse, oder das Wasser in einem Kessel stehe, so darf man an dem Kessel a (Fig. 38) nur eine gläserne Röhre x anbringen, denn der Wasserstand in a und x wird immer das gleiche Niveau behaupten.

§. 97. Ferner folgt aus jenen Eigenschaften der Flüssigkeiten, wie groß der Druck ist, den sie auf den Boden und die Wände der Gefäße, worin sie enthalten sind, ausüben.

Der Druck des Wassers auf den Boden eines Gefäßes richtet sich nicht nach der Wassermenge, sondern nach dem Gewichte, das eine Wassersäule hat, deren Querschnitt der horizontalen Bodenfläche und deren Höhe dem Wasserstande im Gefäße gleich ist.

Sind die Gefäße A, B, C (Fig. 39) mit Wasser (oder einer andern Flüssigkeit) gefüllt, so erleidet der Boden a in allen denselben Druck, wenn die Fläche a (im wagrechten Durchschnitt) gleich groß ist, und in allen Gefäßen das Wasser gleich hoch steht — obschon A viel mehr und C viel weniger Wasser als B enthält, und beide daher auf einer Wage sich anders verhalten.

In A drückt nämlich nur das zwischen den Linien d enthaltene Wasser auf den Boden. In C hingegen übt die in der engen Röhre befindliche Wassersäule (dem Vorigen zufolge) einen Druck gegen die obere Fläche ee aus, der dem Gewichte einer zwischen den senkrechten Linien dd fehlenden Wassermasse gleich ist, und der Boden a muß daher denselben Druck erleiden wie in B.

Der Druck, den der Boden eines Gefäßes mit Wasser auszuhalten hat, läßt sich demnach leicht berechnen, wenn 1 Cub.′ Wasser (bei französ. Maaßen) 70 Pf. wiegt. *)

Hat der Boden eines Behälters z. B. 16 □′ und steht das Wasser 5′ hoch, so beträgt der Druck 80 × 70, oder 5600 Pf.

§. 98. Der Druck auf die Seitenwände findet sich also:

Auf jeden Punkt dieser Wände drückt das Wasser im Verhältniß der Tiefe dieses Punktes unter dem Wasserspiegel, d. h.

*) Bei rheinländischen ist der Cub.′ = 66 Pf. (köln.), bei Wiener Maaßen 56·5 Pf.

unter der Oberfläche des Wassers. Auf den Punkt a (Fig. 40) drückt es wie eine Wasserlinie von der Höhe ha; auf den Punkt b, wie eine Linie = hb u. s. w. Je tiefer der Punkt liegt, desto größer ist also der Druck. Und dies ersieht man auch, wenn in die Wand kleine Oeffnungen gemacht werden; aus einer Oeffnung in c wird das Wasser viel schneller ausfließen, als aus einer bei b oder a.

Liegt c 4mal tiefer als a, so fließt doppelt so viel Wasser aus, was eine doppelte Geschwindigkeit, eben darum aber einen 4fachen Druck anzeigt. Denn es erheischt offenbar einen 4mal größern Druck, um 2mal mehr Wasser und dieses 2mal schneller hinaus zu treiben. *)

Wissen wir aber, daß der Druck sich wie die Wasserhöhe verhält, so muß der gesammte Druck auf irgend eine Seitenfläche dem Gewichte einer Wassersäule gleich seyn, die zur Basis jene Fläche und zur Höhe den mittleren Wasserstand über die ganze Fläche hat.

Ist z. B. nm 4′ hoch, so ist die mittlere Wasserhöhe = 2′, und hat also nm eine Fläche von 3 □′, so ist der Gesammtdruck auf diese Fläche = 6 Cub.′ Wasser oder 6 × 70 Pf.

In einem würfligen Gefäße, dessen Seite 1′ ist, beträgt demnach der Druck des Wassers auf den Boden 70 Pf., und der auf jede der Seiten 35 Pf. oder auf alle vier Seiten 140 Pf. **)

*) Die Geschwindigkeit, die das ausfließende Wasser erlangt, ist, wie wir in der vierten Abtheilung sehen werden, derjenigen gleich, die ein fallender Körper erlangt, wenn die Fallhöhe der Druckhöhe gleich ist; also $v = 2\sqrt{gh}$. (§. 73) Anders verhält es sich mit Sand ꝛc.; hier scheint die Druckhöhe die Geschwindigkeit nicht zu verändern, daher er in einer Sanduhr gleichförmig abfließt. Ebenso verhält sich Sand ꝛc. nicht wie eine wahre Flüssigkeit in communnizirenden Röhren. (93)

**) Senkt man eine leere, aber verstopfte Flasche sehr tief unter Wasser, so wird sie leicht zersprengt. Denn hat sie z. B. eine Oberfläche von 1 □′, und wird sie 100′ tief hinabgesenkt, so erleidet sie einen Druck von 100 Cub.′ Wasser oder 7000 Pf.

Auf gleiche Weise findet sich der Druck auf irgend einen Theil der Seitenfläche; man multiplizirt die Fläche dieses Theils ebenfalls mit der mittlern Wasserhöhe. Ist io 2 □″ groß, und x 45″, so ist der Druck auf 10 = 2 × 45 = 90 Cub.″ Wasser.

In hohen Wasserröhren wird daher der Druck auf die tiefsten Stellen der Wandungen allmählig sehr groß, und er wird diese am leichtesten zersprengen. Eben deßhalb muß der untere Theil hoher Gefäße, die Flüssigkeiten enthalten, sowie der von Mauern, die dem Drucke von Wasser ausgesezt sind, dicker und stärker seyn als der obere.

§. 99. Nach derselben Regel findet sich der Druck auf eine schiefe Wand. Man multiplizirt die Fläche der Wand ebenso mit der mittleren Wasserhöhe.

Gesezt also, A (Fig. 41) sey der Durchschnitt oder das Profil eines Kanals. h = 6′, pq = 12′ und op und nq = 9′, so ist der Druck auf eine Länge von 1′ für den Boden = 12 × 6 = 72 Cub.′ Wasser; und der für jede Seite = 9 × 3 oder 27 Cub.′ Wasser.

Alles dies kommt in der Lehre vom Wasserbau oder der Hydrotechnik, sowie überhaupt bei allen hydraulischen Vorrichtungen vielfach in Betracht. Wir werden also später noch darauf zurückkommen.

§. 100. Der Seitendruck, den das Wasser in Gefäßen ausübt, veranlaßt aber noch ein anderes merkwürdiges Phänomen.

Man fülle einen blechernen Cylinder ab (Fig. 42), an dessen Boden b zwei kleine Röhren wie Aerme angebracht sind, mit Wasser. Hat jede dieser Röhren auf einer Seite eine kleine Oeffnung i und k, so wird das Wasser dadurch ausfließen. Auf jeden Punkt der Röhren wird das Wasser einen Druck ausüben, der der Höhe ab angemessen ist; dieser Druck wird aber da, wo die Oeffnung befindlich ist, nicht auf die Röhre wirken. Es ergibt sich daraus, daß der Druck auf die entgegengesezte Seite i und s größer ist; und ist daher der Cylinder um die Axe xy

leicht beweglich, so muß er durch jenen überwiegenden Druck gegen t und d in der Richtung der Pfeile in eine umdrehende Bewegung kommen.

Diese Rückwirkung oder Reaktion, die ein ausfließendes Wasser zur Folge hat, ist schon zu hydraulischen Maschinen benuzt worden; sie ist übrigens um so beachtungswerther, da sie auch beim Ausströmen von elastischen Flüssigkeiten Statt findet. Dasselbe ergibt sich z. B., wenn man in einer ähnlichen Vorrichtung durch die Oeffnung i und k Dampf ausströmen läßt. Ebenso erklärt sich aus dieser Rückwirkung der Rückstoß der Geschütze, wenn sie abgefeuert werden, das Drehen der Feuerräder u. a. m.

§. 101. Da in einer ruhenden Flüssigkeit alle Theile, troz ihrer leichten Verschiebbarkeit, ohne Bewegung sind, so muß das Gewicht eines jeden Theiles durch den Druck der umgebenden Flüssigkeit getragen werden, und hiemit diesem gleich seyn. Beträgt der Raum a (Fig. 43) 1 Cub.′, so wiegt das denselben einnehmende Wasser 70 Pf., und die ihn umgebende Wassermasse muß also gerade ebensoviel Druck gegen ein solches Volum ausüben.

Taucht man daher einen andern Körper in das Wasser A, von dem 1 Cub.′ 70 Pf. wöge, oder der dasselbe spezifische Gewicht hätte, so müßte ein solcher auf gleiche Weise getragen werden.

Wäre er schwerer, so würde er sinken, immerhin jedoch die Flüssigkeit einen Theil seines Gewichts tragen; und wäre er leichter, so könnte er umgekehrt nicht vollständig eintauchen, sondern er müßte auf der Flüssigkeit schwimmen. Man sieht ferner, daß das Ergebniß nicht von der Größe eines Körpers, sondern einerseits von seinem spezif. Gewichte, und anderseits von dem der Flüssigkeit bedingt wird.

§. 102. Es ergeben sich daraus folgende zwei Gesetze:

1) Jeder feste Körper, der in eine spezifisch leichtere Flüssigkeit eingetaucht wird, verliert darin von seinem Gewichte so viel

als die Flüssigkeit wiegt, die er verdrängt — oder die einen gleichen Raum einnimmt. *)

2) Jeder feste Körper, der auf eine spezifisch schwerern Flüssigkeit gebracht wird und darauf schwimmt, sinkt so weit ein, bis das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit dem jenes Körpers gleich kommt.

Einige Beispiele mögen zur Erläuterung dienen.

Senkt man an einem Bindfaden einen 6 Pf. schweren Stein in Wasser, und ist sein spezif. Gewicht 3mal größer, so wiegt er im Wasser nur 4 Pfund, denn dieses trägt den dritten Theil seines Gewichts, weil das verdrängte Wasser 2 Pf. wiegt. **)

Ein größeres oder kleineres Stück derselben Steinart wird in gleichem Verhältnisse von seinem Gewichte verlieren.

Taucht man den Stein hingegen in Salzwasser oder in Weingeist, so würde er in jenem mehr, in diesem weniger verlieren, weil jenes schwerer, dieses leichter ist.

Man begreift daraus, daß eine Kanne voll Wasser, so lange sie unter dem Wasser gehalten wird, fast gar kein Gewicht hat, und immer schwerer wird, sowie man sie heraus hebt; daß man eine bedeutende Kraft braucht, um sie in das Wasser zu tauchen; daß Steine unter Wasser leichter fortbewegt werden können u. a. m.

§. 103. Ferner führt dieses Verhalten zu einem leichten Mittel, das spezifische Gewicht der Körper zu einer Flüssigkeit und namentlich zum Wasser zu bestimmen.

Wiegt man nämlich einen Körper zuerst in der Luft, und dann in reinem Wasser ab, so zeigt der Verlust an, wieviel ein gleiches Volum Wasser wöge; das spezifische Gewicht muß sich also verhalten, wie das zuerstgefundene oder absolute Gewicht des Körpers zu dem erlittenen Verluste.

---

*) Das Gewicht geht jedoch nicht überhaupt verloren, sondern was der eingetauchte Körper an Gewicht einbüßt, gewinnt das der Flüssigkeit. Darum sinkt ein auf einer Wage stehendes Gefäß mit Wasser, wie man den Finger in das Wasser taucht.

**) Und das Gefäß mit Wasser wird dagegen um zwei Pfund schwerer.

Gesezt z. B., ein Stein wöge ausser dem Wasser 218 Gr. und im Wasser 160 Gr., so beträgt der Verlust 218 — 160 oder 58 Gr.; und sein spezifisches Gewicht zum Wasser ist also $= \frac{218}{58}$ oder 3,76.

Auf diese Weise hat man auch das spezifische Gewicht der meisten festen Körper aufgefunden. Um genau zu verfahren, muß man sich aber nicht nur empfindlicher und guter Wagen (oder eigens dazu eingerichteter Instrumente) bedienen, sondern auch das Abwägen stets bei gleicher Temperatur vornehmen, denn wärmeres Wasser ist spezifisch leichter.

§. 104. Ist ein Körper (er sey dicht oder hohl) spezifisch leichter als Wasser, so schwimmt er, doch taucht immer ein Theil desselben ein.

Ist eine Holzart halb so schwer als Wasser, so wird ein darauf schwimmendes Stück gerade zur Hälfte eintauchen. Eis ist etwa um $\frac{1}{10}$ leichter als Wasser; von einem auf Wasser schwimmenden Eisklumpen ragt daher etwa $\frac{1}{10}$ aus dem Wasser hervor.

Ist eine hohle hölzerne Kiste 4′ lang, 3′ breit und 2′ tief, so verdrängte sie ganz unter Wasser tauchend 4 × 3 × 2 oder 24 Cub.′ und diese wägen 24 × 70 oder 1680 Pf. Wiegt nun die Kiste nur 140 Pf., so könnte sie nur 2″ tief eintauchen; und sie würde bloß 12″ tief einsinken, wenn man in die Kiste noch eine Last von 700 Pf. legte.

Es ist klar, daß sich nach diesen Grundsätzen berechnen läßt, welche Last ein Schiff tragen kann, bis es zu einer gewissen Tiefe eintaucht oder Wasser zieht; und daß selbst eiserne Schiffe schwimmen können, wenn die Wände im Verhältniß zum hohlen Raume sehr dünn sind. In dem spezifisch schwerern Meerwasser wird dasselbe Schiff etwas weniger tief eintauchen.

§. 105. Da derselbe Körper in einer schwerern Flüssigkeit weniger, in einer leichtern tiefer einsinkt, so führt dies zu einem einfachen Verfahren, das spezifische Gewicht verschiedener Flüssigkeiten auszumitteln.

Gesezt nämlich, ein hohle, unten mit einer gehörig beschwerten Kugel versehene, Glasröhre A (Fig. 46) sey gerade so schwer, daß sie in reines Wasser eingetaucht bis a einsinkt, so wird sie, in eine leichtere Flüssigkeit, wie Branntwein, getaucht, tiefer, z. B. bis b, und in einer schwerern, wie Scheidewasser, weniger tief oder nur bis c einsinken. Instrumente, die so eingerichtet sind, daß man an einer Skale leicht das größere oder geringere spezif. Gewicht abnehmen kann, heißen Aräometer.

§. 106. Manche Körper schwimmen natürlich auf gewissen Flüssigkeiten, während sie in andern untersinken. So schwimmt ein Ei auf starkem Salzwasser und sinkt in gewöhnlichem Wasser unter. Mischt man Wasser allmählig mit einer Salzauflösung, so kann man einen Punkt treffen, wo das Ei an jeder Stelle, wo es hingebracht wird, ruhig schweben bleibt, indem die Flüssigkeit dann und das Ei gerade dasselbe spezif. Gewicht haben.

Bernstein schwimmt auf einer starken Salzauflösung, während er in einer schwachen untersinkt. Man bedient sich daher oft einer Bernsteinkugel, um die gehörige Stärke von Laugen u. dgl. zu prüfen.

Daß heisses Wasser spezif. leichter ist als kaltes, ersieht man schon daraus, daß ein Stück Wachs in ersterm untersinkt und auf diesem schwimmt. (95)

Jedermann kennt das Kunststück mit den Cartesianischen Wasserteufelchen. Es sind dies kleine hohle Figuren aus Glas, die irgendwo eine kleine Oeffnung haben. Bringt man eine solche Figur a (Fig. 44) in ein mit Wasser fast ganz gefülltes und mit einer Blase b luftdicht bedecktes Glas, so schwimmt die Figur, weil sie ungefähr eben so leicht als das Wasser gemacht ist. Drückt man aber auf die Blase, so wird die Luftschicht über dem Wasser etwas comprimirt und dadurch etwas Wasser in die Figur hineingepreßt, so daß sie schwerer wird und sinkt. Man kann also, indem man abwechselnd den Druck auf die Blase etwas vermehrt oder vermindert, die Figur sinken und steigen machen.

§. 107. Stark behaarte oder gefiederte Thiere schwimmen ohne Mühe, weil ihr Körper spezifisch leichter als das

Wasser ist. Nach neuern Untersuchungen scheint indessen auch der menschliche Körper in der Regel etwas leichter als das Wasser zu seyn, so daß die meisten Menschen ohne Bewegung sich schwimmend erhalten sollten, wenn sie sich leicht so legen könnten, daß eben Mund und Nase die hervorragenden Theile wären. Bekanntlich können wirklich auch die magersten Menschen die Kunst erlernen, rücklings, ohne sich zu bewegen, auf dem Wasser zu liegen. Daß unser Körper spezifisch leichter seyn soll, als das Wasser, ist allerdings befremdend, da ausser dem Fett (und der Lunge) alle Theile merklich schwerer sind. Es wäre kaum anders begreiflich, als wenn alle Organe im lebenden Zustande mit Luft durchdrungen wären. Wirklich scheint es sich aber also zu verhalten, und daraus eben erklärbar, daß der Körper den (wie wir sehen werden) ungeheuern Druck der äussern Luft aushalten kann.

Die Fische erleichtern sich die Bewegung im Wasser gewöhnlich vermittelst ihrer Schwimmblase. Drücken sie diese etwas zusammen, so wird der Körper kleiner und spezifisch schwerer, und er muß also sinken, läßt der Druck nach, so steigt er. Ebenso kann man sich mit Hülfe von Blasen oder Kork im Wasser leicht schwimmend erhalten.

§. 108. Schüttet man Flüssigkeiten von ungleichem spezifischem Gewicht, und die sich nicht vermischen, wie Oel und Wasser, untereinander, so bildet in Kurzem die leichtere eine Schicht über der schwerern. Man kann jedoch, hindert man die Vermischung, auch eine andere leichte Flüssigkeit durch eine schwerere verdrängen lassen.

Füllt man z. B. die untere Abtheilung des Gefäßes A (Fig. 45) mit Branntwein, und darauf die obere mit Wasser (oder Salzwasser) so zieht sich allmählig das schwerere Wasser durch die Röhre b in den untern Theil, während der Branntwein durch c in den obern steigt. Man nannte diese artige Vorrichtung passevin, weil darin Wasser in Wein verwandelt zu werden scheint.

§. 109. Alle die vorstehenden Phänomene gründen sich auf die Gesetze vom Gleichgewichte flüssiger Körper, und gehören

daher demjenigen Theile der Physik an, den man die Hydrostatik nennt. Die Untersuchungen über die Bewegung dieser Körper, welche erfolgt, wenn jenes Gleichgewicht gestört ist, oder wenn äussere Kräfte auf sie wirken, und über die Kraft, welche bewegte flüssige Massen erlangen und auf andere Körper ausüben, begreift man unter einem andern Theile, der die Hydraulik heißt. Wir werden indessen von den wichtigsten hieher gehörenden Gegenständen erst in der vierten Abtheilung dieses Werkes handeln.

Siebenter Abschnitt.

Von den elastischen Flüssigkeiten, und namentlich der atmosphärischen Luft.

§. 110. Es gibt zweierlei elastische oder expansible Flüssigkeiten; Luftarten oder Gase und Dampfarten.

Beides sind Flüssigkeiten, denn ihre Theile sind leicht verschiebbar oder beweglich, und wie die tropfbaren Flüssigkeiten können sie aus einem Raum in einen andern ausströmen. Sie sind aber zugleich in hohem Grade elastisch, denn sie lassen sich stark zusammendrücken, und dehnen sich, wie der Druck nachläßt, wieder aus. Sie heißen endlich expansive Flüssigkeiten, weil sie ein beständiges Bestreben zeigen, sich noch mehr zu expandiren, und sie sich in's Unendliche ausdehnen würden, wenn kein äusserer Druck ihrer Expansion entgegen wirkte.

Die Dämpfe unterscheiden sich dadurch von den Luftarten, daß jene durch Zusammendrückung oder Erkältung mehr oder weniger ihre elastische Form verlieren, die Luftarten aber nicht, oder (wie neuere Versuche zeigen) nur bei einer ausserordentlich starken Zusammendrückung.

§. 111. Die Dämpfe und Luftarten sind überaus dünne und leichte Materien. Lange hat man daher die Luft für etwas Unkörperliches gehalten. Daß sie aber etwas Materielles ist, und wie jeder Körper ihren Raum ausfüllt und behauptet, sieht man schon daran, daß, wenn eine sogenannnte leere Flasche verkehrt unter Wasser getaucht wird, dieses nicht in die Flasche dringt. Ebenso beweist dies der Widerstand der Luft bei allerlei

Bewegungen, und die Kraft, welche bewegte Luft oder der Wind hat.

Es gibt verschiedene Luft- und Dampfarten, weil verschiedene Materien die Luft- oder Dampfform annehmen können.

Die vornehmsten Luftarten oder Gase sind:

Das Sauerstoff- oder Oxygengas.

Das Wasserstoff- oder Hydrogengas.

Das Stickstoff- oder Azotgas.

Das kohlensaure Gas. (Ehemals fixe Luft genannt.)

Die gekohlten Wasserstoffgasarten.

Das schwefeligsaure Gas und

Das Chlorgas.

Die Luft, die die Erde umgibt, oder die atmosphärische, ist keine besondere Gasart, sondern ein Gemenge von Sauerstoff- und Stickstoffgas.

Jede Gasart hat ihre eigenthümlichen Eigenschaften. Ebenso ist das spezifische Gewicht der verschiedenen Gasarten ungleich. Als elastische Flüssigkeiten sind alle denselben Gesetzen unterworfen.

Von der atmosphärischen Luft insbesondere.

§. 112. Gewicht der Luft. So dünn die Luft ist, so hat sie doch ein bemerkbares Gewicht. Sie ist ponderabel. Eine Glaskugel, mit Luft gefüllt, wiegt etwas mehr, als wenn sie luftleer ist. So fand man, daß die atm. Luft bei einem Barometerstand von 28″ und einer Temperatur von 0°, 770mal leichter als Wasser ist.

1 franz. Cub.′ dieser Luft wiegt also $^{70}/_{770}$ oder $^{1}/_{11}$ Pf. und 1 Cub. Met. 1,3 Kil.

Bei niedrigem Barometerstand und höherer Temperatur ist die Luft aber leichter.

Bei 27″ Bar. und 11° R. wiegt 1 Cub.′ $^{70}/_{840}$ oder $^{1}/_{12}$ Pf.

§. 113. Ursache der Dichtigkeit. Da die Luft, wie jede expansive Flüssigkeit, sich in's Unendliche auszudehnen strebt, so

müßte sie unendlich dünn, und nicht bloß 800mal dünner als das Wasser seyn, wenn kein Druck auf sie wirkte. Ein solcher hat aber in der That Statt, denn die Luft umgibt bekanntlich bis zu einer beträchtlichen Höhe die Erde, und die ganze obere Luftmasse muß, da sie ein Gewicht hat, auf die untern Luftschichten drücken und diese comprimiren. Dieser Druck ist unstreitig die Ursache, daß die Luft an jeder Stelle eine bestimmte Dichtigkeit hat, und daß die uns umgebende gewöhnlich nur etwa 800mal dünner oder leichter als das Wasser ist.

§. 114. Größe des Luftdrucks. Ohne zu wissen, wie hoch die Luft reicht, kann man erfahren, wie groß der Druck oder das Gewicht einer ganzen Luftsäule von irgend einem Querschnitt seyn muß.

Füllt man nämlich eine etwa 30″ lange Glasröhre mit reinem Quecksilber, und kehrt man dieselbe, nachdem man die Mündung unter das Quecksilber in einem Gefäße a (Fig. 47) gebracht, um, so daß sie vertikal steht, so wird das Quecksilber in der Röhre nur um wenige Zolle sinken, und 27 — 28″ hoch über dem Niveau in dem Gefäße stehen bleiben. Ueber dem Quecksilber bei c wird ein leerer Raum seyn. Eben daraus folgt aber, daß die ganze Luftsäule einer Quecksilbersäule von 27 — 28″ das Gleichgewicht halten muß, oder daß eine Luftsäule von 1 □″ Querschnitt gerade so viel wiegt, als 27 — 28 Cub.″ Quecksilber.

Da nun 1 Cub.″ Wasser $\frac{70}{1728}$ Pf. wiegt, und das Quecksilber 13,6mal schwerer als Wasser ist, so wägen 28 Cub.″ Q. $\frac{28 \times 70 \cdot 13{,}6}{1728}$ oder fast $15\frac{1}{2}$ Pf. und 27 Cub.″ über $14\frac{3}{4}$ Pf.

Stürzt man eine längere Röhre mit Quecksilber um, so sinkt das Quecksilber auf die gleiche Weise, und immer bis zu derselben Höhe von 27″. Ist die Röhre hingegen kürzer als 27″, so bleibt sie bis oben voll, weil die Luft die ganze Säule trägt. Das Gleiche geschieht, wenn man eine mit dem Finger luftdicht

geschlossene Röhre füllt. Sofort fällt aber das Quecksilber, sowie man den Finger lüftet. Ein deutlicher Beweis, daß nur der einseitige Luftdruck die Quecksilbersäule trägt. Alle diese Versuche lassen sich ferner mit andern Flüssigkeiten anstellen; nimmt man aber Wasser, so muß die Röhre 13,6mal länger seyn. Trägt die Luft eine Säule von 2⅓′ Q., so trägt sie eine von 32′ Wasser. *)

Auch hier kommt immer die senkrechte Höhe der Säule in Anschlag; und ebenso ändert eine verschiedene Weite nichts.

§. 115. Gegendruck der Luft. Daß die untern Luftschichten durch die Last der obern comprimirt werden, ist ausser Zweifel; eben so gewiß aber, daß jene, sobald die Zusammendrückung nicht weiter geht, einen Gegendruck ausüben müssen, der gerade dem Druck, den sie erleiden, gleich kommt. Ist also die Luft, die uns umgibt, durch einen Druck von 15 Pf. per □″ comprimirt, so muß sie mit gleicher Kraft, wie eine elastische Feder auf die 15 Pf. drücken, entgegenwirken, und zwar nicht nach einer, sondern nach allen Seiten. Und sowie eine solche Feder, wenn sie unter jenem Druck zwischen zwei Wände eingeklemmt wird, fortdauernd diesen Gegendruck auf diese ausübt, ebenso wird auch jede eingeschlossene Luftmasse und nach allen Seiten denselben Druck ausüben, den sie ihrer Verdichtung verdankt.

Ueberall, im Zimmer wie im Freien, ist der Luftdruck daher derselbe: oder gewöhnlich an 15 Pf. per □″ und 15 × 144 oder 2160 Pf. per □′. Der Luftdruck auf den menschlichen Körper muß demnach an 300 Ztr. betragen, da die Oberfläche eines erwachsenen Menschen zu etwa 14 □′ angenommen wird. Da dieser Druck aber von allen Seiten gleichmäßig ist, so hindert er keine Bewegung, und da unser Körper, wie Alles, auf diesen Druck eingerichtet ist (107), so bringt nur ein viel stärkerer oder viel schwächerer Störungen der organischen Funktionen hervor.

*) Diese wichtigen Versuche wurden zuerst von Torricelli (1643) angestellt, daher man noch jezt die über dem Quecksilber entstehende Leere die Torricellische Leere nennt.

§. 116. Höhe der Atmosphäre. Hätte die ganze Luftmasse die gleiche Dichtigkeit, so wäre es ein Leichtes, ihre Höhe zu berechnen: denn am Meeresufer ist der Luftdruck so groß, als der einer 32′ hohen Wassersäule, und wenn die Luft 770mal leichter als Wasser ist, so müßte die ganze Atmosphäre bei gleicher Dichtigkeit 32·770 oder 24,640′ weit reichen. Offenbar muß aber ihre Dichtigkeit stufenweise abnehmen, denn je höher eine Luftschicht liegt, desto weniger Luft lastet auf derselben und desto weniger ist sie zusammengedrückt. Und weil die Luft, je höher man steigt, immer dünner und leichter wird, so muß die ganze Höhe der Atmosphäre ungleich höher und einigermaßen unbestimmbar hoch seyn. Man hat Berge bestiegen, die an 20,000′ hoch über dem Meere sich erheben, und ist in Luftballons noch höher gestiegen. Noch war man da lange nicht an der Grenze der Atmosphäre, allein die Luft war schon mehr als doppelt so dünn. Es läßt sich indessen berechnen, daß sie in einer Höhe von 8 Meilen schon einige hundertmal dünner seyn muß.

§. 117. Werkzeuge, um den Luftdruck zu messen. Wir haben gesehen, wie eine mit Quecksilber oder einer andern Flüssigkeit gefüllte Röhre dienen kann, um den Druck der Luft zu messen. Gibt man derselben eine dazu besonders geeignete Einrichtung, so heißt man den Apparat einen Barometer.

Es kommen hauptsächlich drei Arten Barometer vor:

1) Gefäßbarometer. Bei dieser taucht die untere Oeffnung der Röhre b in ein Gefäß mit Quecksilber a (Fig. 47).

2) Kugelbarometer. Hier ist die Röhre unten gekrümmt, und das überflüssige Quecksilber in einer Kugel a (Fig. 48) enthalten. Solche sind etwas leichter zu transportiren.

3) Heberbarometer. Diese bestehen aus einer einfachen gekrümmten Röhre (Fig. 49).

Alle diese Barometer werden mit Quecksilber gefüllt, weil diese Flüssigkeit weit die schwerste ist, und überdies in Berührung mit einem leeren Raum und ohne starke Erhitzung keine merklichen Dämpfe bildet. Die Röhre ist an einem Brette

befestigt, und dieses mit einer sorgfältig in Zoll und Linien (oder nach Centim. und Millim.) eingetheilten Skale versehen.

Bei den Gefäß- und Kugelbarometern verändert sich das Niveau in a unmerklich, wenn das Quecksilber im Barometer etwas steigt oder fällt. Die Skale kann daher bei jenem Niveau anfangen, und die Skale bei p zeigt unmittelbar die Höhe des Barometerstandes an. Bei den Heberbarometern hingegen steigt das Quecksilber in dem kleinen Schenkel, sowie es in dem größern fällt, und umgekehrt. Die Skale muß daher an einem mittlern Punkte o anfangen, und um den Barometerstand zu finden, muß man beide Abstände ap und aq beobachten und addiren. Ist indessen die Röhre bei p und q gleich weit, so steigt das Quecksilber in q gerade so viel als es in p fällt, und umgekehrt; eine jede Veränderung bei p zeigt also eine doppelt so große des Barometerstandes an.

§. 118. Soll der Barometer ein zuverlässiges Werkzeug zur Bemessung des Luftdrucks seyn, so muß das Quecksilber vollkommen rein seyn, damit es wirklich das ihm zukommende spezifische Gewicht habe, und überdies keine Spur von Luft und Feuchtigkeit enthalten, weil sich sonst über demselben keine vollkommene Leere ergibt. Das Quecksilber muß daher in der Röhre selbst (was einige Uebung erfordert) ausgekocht werden.

Bei Gefäßbarometern muß ferner die Röhre nicht zu enge (sondern 3 — 4''' weit) seyn, weil das Quecksilber in engen Glasröhren nicht bis zum hydrostatischen Niveau steigt. (38.) Bei Heberbarometern hat dieser Umstand hingegen keinen Einfluß, weil die nämliche Wirkung in beiden Schenkeln sich ausgleicht, und schon darum verdienen diese Barometer zu genauen Messungen den Vorzug. Ausserdem können diese sehr leicht tragbar gemacht werden, indem man z. B. am untern Theile der langen Röhre (Fig. 49) ein engeres Stück anbringt. Man kann dann nämlich, ohne Gefahr, daß Luft eindringe, den Barometer leicht umwenden.

Bei ganz genauen Messungen ist freilich überdies noch der Einfluß der Temperatur (da die Wärme das Quecksilber und die Luft ausdehnt) zu berücksichtigen.

§. 119. Der Barometer zeigt, daß der Luftdruck an demselben Orte bald größer, bald kleiner ist, und daß diese Veränderungen mit der geographischen Breite größer werden. Unter dem Aequator sind sie gewöhnlich unbedeutend; in Deutschland aber ist der höchste und tiefste Barometerstand im Jahre wohl um 2″ und mehr verschieden. Täglich haben kleine Schwankungen Statt. Bedeutende oder anhaltende Veränderungen gehen gewöhnlich starken Witterungsveränderungen voran (Wetterglas).

Zu gleicher Zeit steht ferner der Barometer höher an tiefen, und tiefer an höher liegenden Orten. Er steigt, wenn man ihn in Bergwerksschachte bringt, und sinkt, wenn man auf Berge steigt. Aus dem verschiedenen Barometerstande läßt sich daher berechnen, wie hoch ein Ort über einem andern liegt, oder, wenn man einen Barometer bei einer Luftfahrt mitnimmt, wie hoch sich der Ballon erhoben hat.

§. 120. Messung des respektiven Luftdrucks. Auf ähnliche Weise und mittelst einer ganz einfachen Heberröhre läßt sich der respektive Druck zweier Luftmassen oder der Unterschied ihrer Spannkraft auffinden.

Hat die im Raume a (Fig. 50) eingeschlossene Luft gleiche Elastizität wie die äussere Luft, so wird die Flüssigkeit in beiden Schenkeln des Hebers b gleich hoch stehen.

Ist die Elastizität in a größer, so wird sie wie im Heber c; und ist sie kleiner, so wird die Flüssigkeit wie im Heber d stehen.

Um kleine Unterschiede leicht wahrzunehmen, wird man Wasser, um größere Quecksilber in den Heber füllen, und eine verhältnißmäßig hohe Röhre anwenden.

Ist der Abstand beider Niveaus in einem Quecksilberheber c = 3″, und ist der Barometerstand der äussern Luft 27″ — so beträgt der Druck der innern 30″. Wäre der Abstand 27″, so wäre die Elastizität der Luft in a gerade doppelt so groß.

Dergleichen Heberröhren heißen auch **Manometer.**

§. 121. **Die Dichtigkeit der Luft verändert sich im Verhältniß ihrer Elastizität,** und also auch des Drucks, der sie comprimirt, vorausgesezt, daß die Temperatur gleich bleibt.

Die Elastizität der Luft wird 2 oder 3mal größer, wenn sie bis zu einem 2 oder 3mal kleinern Volum oder bis zur 2 oder 3fachen Dichtigkeit comprimirt wird; und 2 oder 3mal kleiner, wenn sie in diesem Verhältniß sich ausdehnt und dünner wird.

Dieses wichtige Gesetz, das nach allen bisherigen Erfahrungen bis zu jedem Grade der Compression oder Expandirung gilt, heißt das **Mariott'sche Gesetz,** und läßt sich im Kleinen durch folgende Versuche nachweisen.

In der Röhre n (Fig. 51) finde sich eine kleine Luftsäule durch etwas Quecksilber bei o gesperrt. Die Niveau's pq liegen in einer Horizontallinie: füllt man nun Quecksilber in die längere Röhre m, so wird es auch in n etwas steigen, und die gesperrte Luftsäule also zusammengedrückt. Man wird nun immer finden, daß $B \times xy : B$ wie $tp : ty$ sich verhält. (Wenn B den Barometerstand bezeichnet) — d. h., daß die Luftsäule n sich in demselben Verhältniß verkürzt und also verdichtet hat, als der Druck in m gewachsen ist.

Beträgt xy 27″ (bei einem solchen Barometerstand), so wird n genau auf die Hälfte comprimirt, und die Luft in n also doppelt so dicht und doppelt so elastisch seyn. Ist $xy = 54''$, so wird die Dichtigkeit genau 3mal so groß seyn u. s. w.

Taucht man eine oben offene Röhre bis p (Fig. 52), so daß x Luft darin bleibt; verschließt man darauf die Oeffnung mit dem Daumen und zieht die Röhre in die Höhe, so wird zwar in derselben Quecksilber mit gehoben werden, allein die Luftsäule wird sich verlängern, denn die äussere Luft muß nun noch die Quecksilbersäule q tragen. Man wird auch hier immer finden, daß $y : x$ wie $B : B - q$, oder daß die Luft in dem Verhältniß

dünner geworden, als der Druck der äussern Luft vermindert ist. Ist $q = 14''$ (wenn $B = 28''$), so wird $y = 2x$ seyn, und die Luft also doppelt so dünn.

Alle diese Versuche lassen sich auch mit Wasser (oder andern Flüssigkeiten) anstellen, nur sind für gleiche Höhen dann die Ergebnisse $13\frac{1}{2}$mal kleiner.

§. 122. Aus dem Vorigen erklären sich eine Menge Erscheinungen.

Taucht man ein Gefäß a (mit Luft) umgekehrt in Wasser (Fig. 54), so wird etwas Wasser hineindringen und die Luft comprimirt; im Verhältniß von $30 + h : 30$; wenn $30'$ Wasser den Luftdruck bezeichnet, und h die Höhe des Wasserstandes über dem Gefäße. So wird das Wasser in einer Taucherglocke g bis zur Hälfte hineinsteigen, und die Luft in derselben auf das Doppelte verdichtet, wenn sie $30'$ tief in's Wasser gesenkt wird. Auch ist klar, daß der innere Raum durch keine Röhre mit der äussern communiziren darf, es sey denn, daß sie mit einer Compressionspumpe (wovon nachher) in Verbindung steht.

Stürzt man eine volle Flasche über Wasser um, d. h. so, daß die Mündung in's Wasser taucht, so wird die Flasche voll bleiben. Auf gleiche Weise erklärt sich der bekannte Stechheber und eine neue Art Gießkanne (Fig. 53). Der Boden a hat eine Menge kleiner Löcher, und der Deckel eine einzige Oeffnung b. Taucht man die Kanne in's Wasser, so füllt sie sich allmählig; indem das Wasser durch die Löcher eindringt, und die Luft durch b entweicht. Hält man nun b zu, so kann man die Kanne aus dem Wasser heben und wegtragen, ohne daß Wasser ausläuft. Es wird aber wie ein Regen ausfließen, sowie man b öffnet, so daß die Luft Zutritt hat.

§. 123. Ebenso hindert ein verschlossenes Spundloch das Ausfließen des Weins aus einem Hahne, wenn das Faß voll ist; und ist das Faß nur zum Theil voll, so wird nur so lange Wein auslaufen, bis die Luft etwas verdünnt ist. (Um $\frac{1}{30}$ etwa, wenn das Faß $1'$ hoch Wein enthält.)

Aus diesen Gesetzen erklären sich ferner allerlei physikalische Spielwerke, wie die Commandobrunnen u. dgl., die jedoch zur Nachweisung der richtigen Ursachen sehr lehrreich sind.

Will man eine Flüssigkeit aus einer Flasche ausgießen, so muß immer eben so viel Luft zugleich einströmen können. Ist dieses bei einer zu engen Mündung nicht möglich, so wird das Ausgießen schwierig. Aus demselben Grunde hält es schwer, ein Gefäß mit sehr enger Mündung zu füllen, weil die Luft zugleich entweichen muß. Ueberhaupt fließt aber das Wasser aus einem umgestürzten Glase (Fig. 55) nur deßhalb aus (da die Luft eine viel höhere Wassersäule zu tragen vermag), weil es unmöglich ist, das Glas so zu halten, daß alle Wasserfaden a, b ganz gleiche Höhe haben. Sind einige nämlich höher als andere, so sinken jene, und die Luft zieht an den niedrigen Stellen ein. Bekanntlich kann man aber das Ausfließen bisweilen verhindern, wenn man an die Mündung des Glases ein glattes Blatt Papier hält. Die Luft drückt dieses an, und der Wasserdruck ist überall gleich groß.

Man begreift ferner, wie man Flaschen mit einer gegebenen Luft füllen kann. Soll z. B. die Luft aus der Flasche a in die Flasche b gebracht werden, so füllt man diese mit Wasser, hält sie (wie Fig. 56) in Wasser und über einen Trichter, und läßt dann die Luft aus a hineinsteigen.

Aus dem Obigen erklärt sich endlich die Wirkung der Spritzen und Saugpumpen, sowie alles Saugen.

Dehnen wir die Brusthöhle aus, so wird die Luft darin dünner, und daher zieht äussere Luft in die Brust. Dies ist das Einathmen. Halten wir aber zugleich mit geschlossenem Munde eine Röhre, und diese in Wasser, so muß das Wasser darin steigen, weil die äussere Luft stärker drückt, als die verdünnte in der Mundhöhle. Das Saugen ist also eine Wirkung des Luftdrucks. Aus gleicher Ursache muß das Wasser dem Stempel einer Spritze folgen und in einer Saugpumpe steigen; und begreiflich ist, daß das Wasser auch in der besten Pumpe nicht über 30′ hoch aufgesogen werden kann.

§. 124. Verdünnung der Luft vermittelst der Luftpumpe. Ein überaus wichtiger Apparat, um die Eigenschaften der Luft kennen zu lernen, ist die Luftpumpe, die ein Deutscher, Otto von Guericke (1647) erfunden hat. Man kann nämlich mittelst derselben die Luft in einem Gefäße mehr und mehr verdünnen, und sie beinahe ganz daraus wegschaffen.

Die Luftpumpe besteht nach der einfachsten Einrichtung aus einem messingenen Cylinder a (Fig. 57), in dem ein dichtanschließender Kolben b bewegt werden kann. Der Kolben hat eine mit einem Ventil versehene Oeffnung c. In den Boden des Cylinders mündet mit einem ähnlichen Ventil d, eine enge Röhre und das andere Ende dieser Röhre im Centrum einer flachen Platte, des Tellers f. Auf diesen wird eine dicht anschließende Glocke von Glas g gestellt, wenn die Luft aus dieser weggezogen werden soll.

Die Wirkung dieser Pumpe ist leicht zu begreifen.

Wird der Kolben aufwärts gezogen, so müßte, weil das Ventil c keine Luft hinein läßt, im Cylinder unter dem Kolben ein leerer Raum entstehen, wenn nicht die Luft in der Glocke sich durch d in denselben ausdehnen kann. Sowie dies aber geschieht, wird jene Luft dünner. Stößt man darauf den Kolben zurück, so kann, weil das Ventil d es hindert, die unter dem Kolben befindliche Luft nicht wieder in die Glocke zurückfließen, und sie muß daher zulezt durch das Ventil c entweichen. Wiederholt man das Pumpen, so wird die Glockenluft von Neuem verdünnt.

§. 125. Wäre die Pumpe vollkommen, so ließe sich leicht berechnen, wie die Verdünnung zunehmen muß. Wäre der leere Raum, der bei jedem Kolbenhube entsteht, $^1/_4$ so groß, als der Gehalt der Glocke, so müßte sich die Glockenluft jedesmal auf $^5/_4$ ausdehnen, und in der Glocke bliebe $^4/_5$ zurück. Beim ersten Hube würde also die Luft auf $^4/_5$ verdünnt, beim zweiten diese wieder auf $^4/_5$, und die anfängliche wäre also $^4/_5 \cdot {}^4/_5$ oder $^{16}/_{25}$mal dünner. So könnte man leicht finden, wieviel dünner sie nach

10,20 oder mehr Hüben seyn muß, und zulezt müßte man immer eine fast unendliche Verdünnung bewirken können. *)

Abgesehen aber, daß der Kolben oft nicht vollkommen dicht an den Stiefel schließt, berührt derselbe auch nie den Boden und das Ventil so vollkommen, daß nicht bei jedem Niedergange einige Tropfen Luft (im schädlichen Raume) zurückbleiben. Auch bei den besten Maschinen geht die Verdünnung daher nicht so rasch, und findet sie zulezt ihre Grenzen. Doch gibt es welche, die eine 500 und mehrfache Verdünnung möglich machen.

Um nach Belieben wieder Luft unter die Glocke zu lassen, ist an der Röhre e ein Hahn angebracht, dessen Drehen eine Verbindung mit der Luft gestattet. Um ferner schneller zu arbeiten, haben die Maschinen gewöhnlich zwei Pumpstiefel. Manche Maschinen haben Hähne statt der Ventile. In die nähere Beschreibung kann hier indessen nicht eingetreten werden.

Um den Grad der Verdünnung zu erfahren, stellt man unter die Glocke eine kleine Schaale mit Quecksilber und einer damit gefüllten Röhre x. Anfangs bleibt das Quecksilber unverändert. Später fängt es aber zu sinken an. Fällt es bis auf 1″, so muß die Luft schon 28mal dünner geworden seyn, und über 300mal, wenn es bis auf 1‴ sinkt.

§. 126. Die Eigenschaften der atmosphärischen Luft können durch allerlei Versuche mit der Luftpumpe recht auffallend dargethan werden, und darum ist dieser physikalische Apparat einer der nützlichsten.

Die Wirkung dieser Pumpe zeigt an sich schon augenscheinlich, wie die Luft als expansive Flüssigkeit sich grenzenlos auszudehnen strebt, wenn keine Kraft ihrer Expandirung entgegenwirkt. Und wie bedeutend der Luftdruck ist, ergibt sich schon daraus, daß nur mit großer Anstrengung der Kolben gezogen

---

*) Nennt man C die Capazität der Glocke, und c die des Stiefels, so ist die jedesmalige Verdünnung $= \frac{C}{C+c}$ und nach n Zügen die Verdünnung $= \left(\frac{C}{C+c}\right)^n$.

werden kann, und daß die Glocke, sowie die Luft darunter verdünnt ist, mit ausnehmender Gewalt an dem Teller festhält.

Die äussere Luft drückt nämlich mit etwa 15 Pfd. Kraft auf jeden □″, während die innere bei 15facher Verdünnung z. B. nur mit 1 Pf. entgegendrückt.

Ist die Glocke daher nicht stark, so wird sie leicht zersprengt. So berstet eine Glasscheibe, die man auf einen Cylinder dicht anlegt, oder eine Schweinsblase, die man darüber bindet, wenn man unter dem Cylinder die Luft auspumpt.

Sezt man zwei hohle Halbkugeln a, b (Fig. 58) so dicht auf einander, daß keine Luft eindringen kann, und pumpt man durch die Röhre c die Luft aus, so hängen beide dergestalt zusammen, daß die stärksten Männer, ja Pferde sie nicht trennen können.

Guericke machte diesen Versuch vor den Reichsfürsten in Regensburg 1654 mit Kugeln von 3½′ Durchmesser, und zeigte, daß dann 20 Pferde sie nicht zu trennen vermochten. In der That, da diese Kugeln eine Oberfläche von mehr als 30 □′ haben, so drückte die Luft mit mehr als 600 Zentnern Kraft auf dieselben.

Bläst man durch die Röhre p (Fig. 60) etwas Luft in die Flasche q, so wird sofort etwas Wasser aus der Röhre hinausgetrieben, weil die Luft in q verdichtet wurde. Das Gleiche geschieht, wenn die Flasche unter die Glocke einer Luftpumpe gesezt und die Luft verdünnt wird. Die eingeschlossene Luft wird sich nun ausdehnen und daher auf das Wasser drücken. Aus derselben Ursache schwillt eine schlaffe zugebundene Schweinsblase auf, und fängt Bier unter der Glocke zu schäumen an. Das Bier enthält nämlich viele mit der Flüssigkeit verbundene Lufttheile, und diese dehnen sich aus und steigen auf, sowie der Luftdruck über der Flüssigkeit viel geringer wird.

Bringt man ein Stück Holz, unter Wasser festgehalten, unter die Glocke, so steigen Luftblasen aus allen Poren des Holzes; und läßt man darauf wieder Luft hinzu, so treibt diese in

alle jene leeren Poren Wasser, so daß das Holz nun viel schwerer ist. Auf diese Art läßt sich aus allen porösen Materien die Luft ausziehen, was öfters nützlich seyn kann.

Indem man mit der Luftpumpe die Luft aus einer hohlen Kugel auspumpen kann, läßt sich das Gewicht der Luft finden. (112.)

Bringt man in eine lange Röhre einen schweren und einen sehr leichten Körper, z. B. eine kleine Bleikugel und ein Stückchen Hollundermark, und pumpt man die Luft aus, so sieht man, daß beide Körper gleich geschwind fallen.

Mittelst der Luftpumpe (und geeigneter Vorrichtungen) läßt sich endlich der Einfluß der Luft auf viele andere Erscheinungen darthun.

Warmblütige Thiere ersticken schnell in stark verdünnter Luft. Eine brennende Kerze erlischt darin. Ein Feuerzeug gibt keine Funken, obschon Stahltheile abspringen und schmelzen. Eine Glocke gibt keinen Schall. Warmes Wasser fängt zu sieden an, und flüchtige Flüssigkeiten verdünsten sehr schnell und erzeugen Kälte u. a. m.

Schraubt man eine, mit einem Hahn versehene Kugel an eine etwa 30″ lange Röhre, füllt man Kugel und Röhre mit Quecksilber, und kehrt man sie dann (wie eine Barometerröhre) um, so sinkt auch hier das Quecksilber bis auf 28″ herab, und die ganze Kugel wird luftleer. Diese Methode, einen luftleeren Raum zu erhalten, hat aber keinen Vorzug vor dem Auspumpem, obschon man in neuerer Zeit verschiedene Apparate dazu vorgeschlagen hat. Denn 1) ist sie schon sehr unbequem, indem man eine große Masse Quecksilber nöthig hat. (Da 1 Cub.′ Q. über 9 Zentner wiegt.) Und 2) erhält man keinen vollkommen leeren Raum, da ein gehöriges Auskochen des Q. in solchem Apparate nicht möglich ist.

§. 127. Verdichtung der Luft mittelst Compressionspumpen. Wie man die Luft verdünnen kann, indem man fortwährend einen Theil Luft aus einem Raume herauszieht, so läßt sie sich mehr und mehr in einem Gefäße verdichten, indem man immer mehr Luft hineinpreßt.

Eine der Luftpumpe ähnliche Pumpe kann dazu dienen, wenn die Hahnen anders gedreht werden, oder die Ventile eine verkehrte Stellung haben. Soll übrigens die Luft unter einer Glocke komprimirt werden, so muß diese durch besondere Vorrichtungen an den Teller befestigt seyn.

Will man Luft in einem Gefäße a (Fig. 59) komprimiren, so kann dies vermittelst einer ganz einfachen Compressionspumpe b geschehen, die man daran anschraubt. Hat die Mündung des Gefäßes selbst ein Ventil c, so bedarf es bloß noch eines zweiten d im Kolben der Pumpe. Es ist klar, daß bei jedem Auszuge des Kolbens der Stiefel sich mit äusserer Luft füllen, und daß beim Zurückstoßen diese in das Gefäß hineingepreßt werden muß.

Ist die Kapazität des Stiefels $1/5$ von a, so wird (theoretisch) bei jedem Stoße die Luft in a um $1/5$ ihrer ursprünglichen Masse vermehrt, und um so viel dichter. Nach 10 Stößen enthält a $10/5$, nach 50 Stößen $50/5$ mehr Luft, und ist daher 11mal dichter.

Achter Abschnitt.

Von den tönenden Bewegungen oder den akustischen Phänomenen.

§. 128. Die Empfindung, die wir hören nennen, wird durch gewisse bebende Bewegungen äusserer Körper erzeugt, die auf eine eigenthümliche Weise unsere Gehörnerven affiziren. Die Wirkung solcher Bewegungen heißt, je nach ihrer Beschaffenheit, Schall, Knall, Ton, Klang, Geräusche, Getöse u. dgl. Wir können eine unendliche Menge verschiedener Töne unterscheiden, eben so mannichfach müssen auch die Schallbewegungen seyn, denn zwei ganz gleiche müssen auch denselben Eindruck hervorbringen. Sehr interessant ist daher die Untersuchung, was für Bewegungen die verschiedenen Töne erzeugen, und wie dieselben bis zu unserm Ohre gelangen. Dieser Theil der Physik heißt Akustik.

A. Von der Entstehung des Schalls oder der Töne.

§. 129. Daß die Theile eines Körpers, der schallt oder tönt, in einer bebenden oder vibrirenden Bewegung begriffen sind, läßt sich oft leicht wahrnehmen. Daß eine tönende Saite schwingt, sieht man; und aufgelegte Papierstreifen werden sofort abgeworfen, sowie man sie mit einem Bogen streicht. Die vibrirende Bewegung einer tönenden Glocke oder Stimmgabel fühlt man, wenn man sie leise, zumal mit der Lippe, berührt. Bringt man ein Trinkglas, in dem etwas Wasser ist, oder eine mit feinem Sand bestreute Glas- oder Metallscheibe zum Tönen, indem man den Rand mit einem Bogen streicht, so erzittert

deutlich das Wasser oder der Sand. Das Tönen hört auch sogleich auf, wenn man durch feste Berührung die Schwingungen hemmt. Ferner können nur elastische Körper einen Schall erzeugen, weil nur solche einer vibrirenden Bewegung fähig sind.

§. 130. Offenbar ist in allen diesen Fällen die bebende Bewegung des schallenden Körpers die Ursache des Tönens; da aber dieser Körper selten oder nie das Ohr selbst berührt, so muß sich jene Bewegung, und namentlich durch die Luft, bis zu unserm Gehörorgane fortpflanzen und auch die Luft also diese Vibrirung annehmen können. Gar häufig ist indessen die Luft selbst der schallende Körper. Wenn man spricht oder singt, auf Blasinstrumenten spielt, oder mit einer Peitsche knallt u. dgl. tönt die Luft selbst.

§. 131. Am meisten Aufschluß über die Ursache der Tonverschiedenheit geben uns gespannte Saiten (Metall- oder Darmsaiten); wir betrachten daher zuerst und am ausführlichsten die akustischen Phänomene, die sich an diesen beobachten lassen.

Damit eine Saite einen Ton geben kann, muß sie eine gewisse Spannung haben, weil sie sonst nicht elastisch genug ist, um schnell zu schwingen. Sie darf aber auch nicht zu lang seyn; sie macht dann nämlich wohl Schwingungen, aber sie schwingt um so langsamer, je länger sie ist; man sieht also, daß die Schwingungen eine gewisse Geschwindigkeit haben müssen, um hörbar zu werden. Man kann in der That zeigen, daß erst dann ein hörbarer Ton entsteht, wenn wenigstens 30 Schwingungen (15 Hin- und Herbewegungen) in einer Sekunde Statt haben. Eine Saite, die vier Schwingungen per Sekunde macht, muß bis auf $^1/_8$ verkürzt werden, damit sie einen deutlichen Ton gibt, und dann macht sie 8mal mehr oder 32 Schwingungen.

§. 132. Je stärker die Saite schwingt, desto stärker ist der Ton. Ganz vorzüglich wird er ferner verstärkt, wenn die Saite auf einem festen und elastischen Körper aufgespannt ist. Diese Wirkung ist nur dadurch erklärlich, daß dieser mitvibrirt, und wirklich kann dieses Mitvibriren leicht dargethan werden.

Bei allen Saiteninstrumenten bringt man daher sogen. Resonanzboden an, und wie sehr diese auf den Ton Einfluß haben, ist klar, denn sonst würden alle Violinen, mit gleichen Saiten bespannt, gleich gut klingen. Ebenso hat eine Stimmgabel, die in der Luft gehalten, kaum hörbar ist, einen ungleich stärkern und hellern Ton, wenn man den Griff auf einen Tisch aufsezt.

§. 133. Besonders merkwürdig ist aber die Verschiedenheit des Tons, hinsichtlich der Höhe und Tiefe, die wir nach der Beschaffenheit der Saite bemerken. Die Erfahrung lehrt, daß der Ton um so höher ist, je dünner, kürzer und gespannter die Saite ist.

Verändert man an einer gespannten Saite bloß die Länge, indem man z. B. einen kleinern Sattel darunter stellt, so zeigt sich, daß die halbe Länge gerade die Oktave des ersten Tones oder Grundtones angibt; $1/4$ der ganzen Länge die zweite, $1/8$ die dritte Oktave u. s. w.

Da man nun weiß, daß eine 2mal kürzere Saite 2mal mehr Schwingungen macht, so ist unzweifelhaft, daß der Ton um eine Oktave erhöht wird, wenn die Geschwindigkeit ihrer Schwingungen verdoppelt wird, und daß überhaupt die Verschiedenheit der Töne hinsichtlich der Höhe und Tiefe auf die Zahl der Schwingungen, die der tönende Körper macht, sich gründet.

§. 134. Unser Ohr ist gewöhnt, durch 7 Stufen oder Intervalle von jedem Ton bis zur Oktave desselben überzugehen. Suchen wir die dieser Tonleiter entsprechenden Saitenlängen, so finden wir, nennt man den Ton der ganzen Länge = 1 Grundton oder c:

für die	Sekunde	oder d	— $8/9$	und die Geschwindigkeit	$9/8$
„	Terz	„ e	— $4/5$	„	$5/4$
„	Quarte	„ f	— $3/4$	„	$3/4$
„	Quinte	„ g	— $2/3$	„	$3/2$
„	Sexte	„ a	— $3/5$	„	$5/3$
„	Septime	„ h	— $8/15$	„	$15/8$
„	Oktave	„ c	— $1/2$	„	2

Auf gleiche Weise läßt sich die Molltonleiter, oder die chromatische durch lauter halbe Töne finden 2c. Und die erste Tonleiter wird sich fortsetzen lassen, wenn man in demselben Verhältnisse die halbe Länge, und später den vierten Theil verkürzt.

Auf den meisten Saiteninstrumenten lassen sich demnach alle Töne zwischen vier und mehreren Oktaven hervorbringen. Die Geigeninstrumente haben meist vier Saiten von gleicher Länge, aber verschiedener Dicke; so erhält man bereits vier Töne, die übrigen werden durch Aufsetzung der Finger (oder Verkürzen der Saiten) hervorgebracht. Dabei kann derselbe Ton oft auf mehreren Saiten bei ungleicher Länge erzeugt, und demnach nuanzirt werden.

Bei Harfen und Clavieren ist für jeden Ton eine eigene Saite vorhanden; und die Länge der Saiten sehr ungleich. Da aber, sollte z. B. der höchste Ton die siebente Oktave des tiefsten seyn, die Saite für erstere 2^6 oder 64mal kürzer seyn müßte, als die längste, so nimmt man für die höheren Töne immer dünnere Saiten. Genau endlich regulirt man das Verhältniß durch die Spannung (oder das Stimmen).

§. 135. Man sieht, daß die Geschwindigkeit der Schallbewegungen fast in's Unglaubliche geht. Das tiefste c der Violine ist etwa die vierte Oktave des tiefsten hörbaren Tones, und da diesem schon 32 Vibr. per Sekunde zukommen, so muß jenes c 16×32 oder 512 Vibr. machen, und das gewöhnliche a (die Sexte jenes c) $^5/_3 . 512$ oder 854. Die dritte Oktave von diesem a aber $8 . 854$ oder 6832 Schwingungen per Sekunde.

Man sieht ferner, daß diejenigen Intervalle den angenehmsten Eindruck auf unser Ohr machen, deren Bewegungen in den einfachsten Verhältnissen zu einander stehen, oder daß verschiedene gleichzeitige Töne dann am besten zusammenklingen. Grundton und Oktave klingen beinahe wie derselbe Ton. Grundton und Quinte (deren Verhältniß = 2 : 3) bilden den besten Akkord. Nach ihnen Grundton und Terz, oder Quarte oder Sexte. Umgekehrt erzeugt der Grundton mit der Sekunde (8 : 9) oder mit der Septime (8 : 15) eine Empfindung, die

unbefriedigt läßt. Es ist hieraus klar, daß die eingeführten Tonleitern, sowie die Lehre von den Akkorden und der Harmonie, nicht bloß auf angenommene Gewohnheiten, sondern auf physikalische Prinzipien sich gründen. Es könnte ferner leicht gezeigt werden, warum derselbe Ton, z. B. a, nicht zugleich genau die Sexte von c und die Quinte von d seyn kann, warum daher Claviere nicht genau nach Einem Grundton gestimmt werden dürfen, sondern nach einer sogen. Temperatur, warum jede Tonart auf Instrumenten einen etwas abweichenden Eindruck machen muß, und vieles Andere, was hier aber übergangen werden muß.

§. 136. Zweier Phänomene müssen wir hingegen noch Erwähnung thun.

Eine Saite kann nämlich nicht nur, wie gewöhnlich, in ihrer ganzen Länge Querschwingungen machen, sondern auch, in zwei oder mehrere Unterabtheilungen sich theilend, vibriren. Berührt man z. B. die Saite A (Fig. 61) in der Mitte bei a mit dem Finger, und streicht man die eine Hälfte mit einem Bogen, so schwingen beide Theile, wie die Fig. A zeigt, und jeder gibt die Oktave der ganzen Saite.

Berührt man B bei b, so schwingt sie in drei Theilen, bei c entsteht eine Ruhestelle oder Schwingungsknoten, und die Saite gibt, wie eine auf $1/3$ verkürzte, die obere Quinte des Grundtons an.

Ebenso tönt sie in vier Abtheilungen, wenn sie wie C in c berührt wird, und gibt dann die obere Oktave an.

Auf diese Weise bringen geschickte Violinspieler eigenthümliche Töne (die Flageolettöne) hervor; und aus dieser Schwingung der Saiten, in mehr oder weniger Abtheilungen, erklären sich die verschiedenen Töne der Aeolsharfe, obschon diese mehrere völlig gleichgestimmte Saiten hat. Der durchziehende Wind macht sie schwingen, bewirkt aber zugleich, daß jede Saite in bald mehr, bald weniger Abtheilungen schwingt, so daß man zugleich oft Grundton, Oktave, obere Terz und Quinte u. s. w. hört. So geben zuweilen sehr lange, ausgespannte Drähte einen Ton von

sich, wenn irgend eine Ursache (eine Witterungsänderung z. B.) die Drähte veranlaßt, in solchen Unterabtheilungen zu erbeben.*)

Für's Zweite können Saiten auch Töne geben, indem sie nicht in die Quere, sondern der Länge nach vibriren. Man erhält solche Longitudinalschwingungen, wenn man eine Saite mit einem Bogen unter einem sehr spitzen Winkel streicht. Diese sind gewöhnlich sehr hoch und pfeifend, und werden zur Musik nicht benuzt.

§. 137. Was die Spannung betrifft, so bemerken wir bloß, daß die Zahl der Schwingungen mit dem Quadrate der spannenden Kraft wächst. Gibt also eine Saite, durch ein Gewicht von 5 Pf. gespannt, einen Ton a, so erhöht ein Gewicht von 20 Pf. den Ton zur Oktave, weil eine vierfache Spannung die Zahl der Schwingungen verdoppelt. Verändert sich das Gewicht im Verhältniß von 64 : 81 ($8^2 : 9^2$), so ändert sich die Höhe um einen ganzen Ton, oder bis zur Sekunde. Gewöhnlich gibt man jeder Saite aber eine gewisse Normalspannung, und ändert diese nur, um die Saite genau zu stimmen. Bei Fortepianos beträgt die Kraft für jede Saite an 15 und mehr Pf., und daraus läßt sich abnehmen, wie stark die Wandungen des Instruments seyn müssen, um die Spannung von oft mehreren Hundert Saiten auszuhalten. Ebenso ist klar, daß dickere Saiten (z. B. Violinquinten) stärker gespannt seyn müssen, wenn sie den gleichen Ton geben sollen.

Schallbewegungen anderer festen Körper.

§. 138. Nach denselben Prinzipien tönen andere feste Körper, obschon die Bewegungen meist schwieriger nachzuweisen sind.

Leicht bemerkt man die Schwingungen an Stäben, die man an einem Ende in einen Schraubstock einzwängt, und durch einen Schlag oder mittelst eines Bogens tönen macht. Schon eine

---

*) Ein feines Gehör vernimmt oft, wenn eine einzige Saite stark tönt, zugleich mehrere hohe Töne. Es geschieht dies, weil eine solche Saite zu gleicher Zeit nicht nur der ganzen Länge nach, sondern überdies noch in Abtheilungen sich theilend schwingen kann.

eiserne Schraube gibt einen Ton, wenn man sie streicht, und dieser wird immer höher, je tiefer man sie einschraubt. Man kann auf diese Weise mit eisernen Stiften von verschiedener Länge ein musikalisches Instrument (Eisenvioline) herstellen. Auf ähnlichen Prinzipien beruhen die sogen. Stabharmonikas. Auch die Stäbe schwingen übrigens oft in Unterabtheilungen.

Die Vibrationen von dünnen (Glas- oder Metall-) Platten lassen sich leicht wahrnehmen, wenn man dieselben mit feinem Sand bestreut. Hält man z. B. eine Glasscheibe a (Fig. 62) bei b zwischen zwei Fingern möglichst fest, und streicht man dann an einer Stelle c den Rand der Scheibe, so wird die Scheibe einen scharfen Ton geben, zugleich aber der Sand sich von vielen Stellen entfernen und an andern anhäufen. So entsteht eine Sandfigur, und offenbar bezeichnet diese die Stellen, die ruhig bleiben; hält man die Platte an einer andern Stelle fest, oder bestreicht man sie an einer andern, so bildet sich oft eine andere Figur, und zugleich ein anderer Ton. Diese merkwürdigen Figuren heißt man Klangfiguren, und auch hier ergibt sich, daß je höher der Ton ist, desto kürzer die freien Stellen werden, die zwischen den Sandlinien (den Knotenlinien) eingeschlossen sind. *)

§. 139. Bringt man einen metallenen Ring zum Tönen, so ist unschwer zu bemerken, daß er in 4, 6 oder mehreren Abtheilungen schwingt, oder daß mehrere Punkte ruhen, zwischen denen die einzelnen Bogen hin und her vibriren. Dasselbe hat auch bei einem Trinkglase z. B. Statt. Füllt man in dasselbe etwas Wasser, und bringt man das Glas zum Tönen, indem man den Rand mit einem Bogen streicht, so sieht man, sowie der Ton recht hell wird, daß das Wasser an 4, 6 oder 8 Stellen ruhig bleibt, vom schwingenden Glase zwischen denselben aber wegge-

*) Eine Menge solcher Figuren mit Scheiben von verschiedener Gestalt hat Chladni in seiner Akustik untersucht und abgebildet.

sprizt wird. Ist das Glas oben etwas weiter, so wird der Ton zusehends tiefer, je mehr Wasser man einfüllt.

Auf ähnliche Weise vibriren unstreitig die Glocken. Damit eine Glocke einen bestimmten Ton erlange, müssen die Verhältnisse der Dicke und Weite nach besondern Regeln berechnet werden. Sollen vier Glocken die vier Töne des ganzen Akkords, Grundton, Terz, Quinte und Oktave, angeben, so muß immer eine Glocke um die Hälfte leichter seyn als die vorige.

Dieselben Prinzipien endlich sind auf das Tönen gespannter Häute u. dgl. anzuwenden.

Aus dem Gesagten erklären sich verschiedene musikalische Instrumente, die man in neuerer Zeit erfunden hat, von denen jedoch keines in allgemeinen Gebrauch gekommen ist. Am bekanntesten ist die von Franklin erfundene Glasharmonika, die aus einer Reihe gläserner Glocken von verschiedener Größe besteht. Diese Glocken werden umgedreht und befeuchtet, und durch Andrücken der Finger entlockt man ihnen Töne, und zwar von beliebiger Dauer und Stärke.

Alle diese Untersuchungen beziehen sich zwar hauptsächlich auf die Entstehung der Töne im engern Sinn und ihre Verschiedenheit hinsichtlich der Höhe und Tiefe. Es ist jedoch nicht zu bezweifeln, daß die Entstehung eines jeden Schalles in dergleichen Vibrationen eines elastischen Körpers ihren Grund hat, und sehr wahrscheinlich, daß ein Knall, ein Geräusch, ein Krachen u. s. w. nur darum nicht bestimmbare Töne sind, weil die Vibrationen, die dann Statt haben, sehr unregelmäßig sind, und daher einen verwirrten Eindruck machen. Auch sieht man, daß vielerlei gleichzeitige Töne leicht die Wirkung eines bloßen Getöses hervorbringen, und daß die Reinheit eines Tons je nach der Beschaffenheit des Körpers in ein bloßes Knarren übergeht.

Schallbewegungen der Luft.

§. 140. Da die Luft ein elastischer Körper ist, so kann auch sie in eine vibrirende Bewegung versezt werden, und dann einen Schall oder Töne erzeugen.

Eine bloße Fortbewegung der Luft erregt keinen Schall. Auch ein Wind ist nicht hörbar, wenn er nicht andere Körper trifft. Bläst man Luft bloß durch eine Röhre, so entsteht kein Ton. Hingegen tönt jede auch sonst ruhende Luftmasse, wenn die einzelnen Lufttheile vibriren.

§. 141. Am leichtesten lassen sich die Phänomene einer, in einer Röhre eingeschlossenen, tönenden Luftsäule untersuchen.

Bläst man gegen die obere Oeffnung einer Röhre, deren untere verschlossen ist, so entsteht ein Ton, weil die eingeschlossene Luftsäule durch das Anblasen in eine vibrirende Bewegung versezt wird. Sie macht Schwingungen, und zwar der Länge nach, oder Longitudinalschwingungen. Je länger die Röhre und also die Luftsäule ist, desto tiefer ist der Ton, und je kürzer, desto höher.

Ebenso entstehen Töne, wenn man eine unten offene Röhre anbläst. Der Ton derselben Röhre ist aber genau um eine Oktave höher, wenn die Röhre unten offen, als wenn sie verschlossen ist. Man sieht daraus, daß die Säule in diesem Falle in zwei Hälften sich theilt.

Dasselbe kann auch geschehen, wenn man die Röhre stärker anbläst, oder wenn sie sehr lang und verhältnißmäßig eng ist. Lange Röhren können daher mehrere Töne geben, weil die Luftsäule, je nach dem Anblasen in 2, 3, 4 oder mehr Theile sich theilend, vibriren mag. Ueberdies können Nebenumstände, die Glätte und Beschaffenheit der Röhre und des Mundstücks, die Vibrationen und so die Qualität des Tons modifiziren.

§. 142. Auf diesen Prinzipien beruhen alle Blasinstrumente.

Bei den meisten (den Flöten, Clarinetten, Oboen, Fagotten u. a.) sind sechs oder mehr Löcher angebracht, die man mit den Fingern oder mittelst Klappen öffnen oder schließen kann. Wo ein Loch offen ist, hört das Vibriren der Luftsäule auf. Die Länge der schwingenden Theile wird demnach durch das Oeffnen

des einen oder anderen Loches geändert, und hiemit der Ton. Den höchsten erhält man, wenn das dem Mundstück nächste Loch offen ist, den tiefsten, wenn alle geschlossen sind, weil dann die Luftsäule am längsten ist. Bei Flöten wird die innere Säule erschüttert, indem man über die Mundstücköffnung wegbläst; bei andern Instrumenten bläst man in dieselbe, die eingeblasene Luft kann aber sofort entweichen, und sie dient ebenfalls nur, um die Luftsäule zu erschüttern, und die besondere Beschaffenheit derselben um den Ton zu modifiziren.

Das Waldhorn besteht aus einer langen, der Bequemlichkeit wegen gewundenen und immer weiter werdenden Röhre. Die Krümmung ändert den Ton nicht, und das Weiterwerden wenig. Die Kunst, auf dem Horn verschiedene Töne hervorzubringen, besteht darin, daß man durch einen verschiedenen Anschlag die Luftsäule zwingt, bald in mehr, bald in weniger Abtheilungen zu vibriren. Immerhin lassen sich indessen nicht alle Töne der Tonleiter hervorbringen. Um mehrere zu erhalten, verkürzt man zuweilen daher, indem man die Hand in den Pavillon stößt, die Säule, sezt längere oder kürzere Röhrenstücke ein, oder bringt auch wohl (wie bei neuen Hörnern) Klappen an.

Bei den Posaunen verändert man die Töne, indem man die Röhre verlängern oder verkürzen kann.

§. 143. Ein majestätisches Blaseinstrument ist die Orgel. Hier hat jeder Ton eine eigene Röhre oder Pfeife, die ein Blasebalg (mit Windlade) anbläst. Sollen 60 Töne erzeugt werden, so müssen ebensoviele Pfeifen von verschiedener und bestimmter Länge vorhanden und die längern verhältnißmäßig weiter seyn, damit die Luftsäule in ihrer ganzen Länge, ohne sich zu zertheilen, töne. Bei großen Orgeln sind aber für jeden Ton 12, 20 und mehr Pfeifen vorhanden, so daß ihrer das ganze Werk viele hundert, ja mehrere tausend zählt. Es geschieht dies 1) um einen stärkern oder schwächern Effekt erhalten zu können, je nachdem man den Wind zu mehr oder weniger Pfeifenröhren (Registern) zuläßt, und 2) um einen vielstimmigen Effekt zu bewirken, indem man jedem Register eine besondere Qualität des Tons geben kann.

§. 144. Am bewunderungswürdigsten ist aber die unendliche Mannichfaltigkeit von Tönen, die das menschliche Stimmorgan hervorbringen kann. Beim Athmen zieht die Luft durch die Kehle, ohne einen Ton zu erzeugen. Dieser entsteht erst, wenn zugleich gewisse Häutchen am Kehlkopfe gespannt werden: denn dann erst kommt die durchgehende Luft in eine zitternde Bewegung. Alle Veränderungen des Tons hängen aber von der ungleichen Spannung jener Häute und der Verengerung der Stimmritze ab; und diese vermögen wir, ohne den Mechanismus zu kennen, auf das pünktlichste vorzunehmen. Ebenso wunderbar sind die zahllosen Modifikationen, die jeder Ton noch erleiden kann, wenn er durch die Mund- und Nasenhöhle geht; *) zur Bildung eines jeden Vocals und jeder Silbe gehört aber eine besondere Bewegung des Mundes.

Mancherlei Töne können bloß durch den Mund ohne Mitwirkung des eigentlichen Stimmorgans erzeugt werden. Dies geschieht namentlich beim Pfeifen.

Ebenso wirkt beim Spielen der Maultrommel nicht jenes Organ, sondern die stählerne Zunge derselben sezt die in der Mundhöhle vorhandene Luft in Vibration, und die Verschiedenheit der Töne entsteht durch die verschiedenen Erweiterungen und Verengerungen jener Höhle.

Bei den seit einigen Jahren erfundenen Mundharmonikas (Aeolinen) setzen wir hingegen durch Blasen mehrere ungleich lange Stahlstreifen in Vibration, und diese ertheilen wieder der Luft verschiedene Vibrationen.

§. 145. Ueberhaupt, so oft die Luft durch irgend eine Ursache eine vibrirende oder erzitternde Bewegung erhält, muß diese hörbar seyn, und hiemit eine Art Schall entstehen. Peitschenschlag erzeugt einen Knall, weil die Luft nicht nur bewegt, sondern erschüttert wird, und als elastische Materie eine schnell

---

*) Auch die Nase wirkt beim Sprechen. Hält man sich die Nase zu, so sollte man also nicht sagen, daß man durch die Nase spreche.

schwingende Bewegung annehmen muß. Die Luft pfeift, wenn sie durch Verengungen durchzieht.

Die Entzündung des Schießpulvers in einem eingeschlossenen Raume erzeugt einen heftigen Knall, weil die augenblickliche Bildung einer Luftmasse die angrenzende zurückdrängt und erschüttert. Dasselbe geschieht bei den Explosionen eines Dampfkessels ꝛc.

Eine gleiche Wirkung hat die plötzliche Vernichtung einer Luftmasse. Oeffnet man schnell ein gutschließendes Futteral, oder zieht man den Kolben aus einer Pumpe, so entsteht ein Knall, weil zuerst die Luft darin verdünnt wird, und dann plötzlich die äussere in diesen Raum eindringt. Ein noch heftigerer Knall ergibt sich, wenn ein Gemenge von Wasser- und Sauerstoffgas durch Anzünden vernichtet wird. Höchst wahrscheinlich wird aus einer ähnlichen Ursache der Donner erzeugt, indem nämlich der Blitz die Vernichtung von Dünsten und dadurch die Entstehung von leeren Räumen bewirkt.

B. Von der Mittheilung und Fortpflanzung der Schallbewegungen.

§. 146. Da die schallenden Körper beinahe nie unser Ohr unmittelbar berühren, sondern durch andere Körper und namentlich die Luft davon getrennt sind, so müssen die Vibrationen des tönenden Körpers sich dieser mittheilen können und der Schall in Folge dieser Fortpflanzung hörbar werden.

Es ist auch begreiflich, daß die nächsten Lufttheile, die z. B. eine tönende Glocke berühren, von dieser ebenfalls in Vibration versetzt werden müssen, und daß diese ihre Bewegung (ungefähr so, wie bei einer Reihe elfenbeinerner Kugeln) sofort wieder an die nächsten Luftkreise abgeben werden.

§. 147. Diese Mittheilung hat zweierlei wohl zu unterscheidende Wirkungen. Sie bewirkt bald eine bloße Fortpflanzung des Tons, bald ein Mittönen. Hören wir in einem verschlossenen Zimmer den Schall einer Trommel, so müssen die Luft und die Scheiben den Ton fortpflanzen; bisweilen aber hören wir deutlich ein Mittönen der Scheiben. In beiden Fällen

muß das Glas vibriren, und zwar auf eine den Vibrationen der Trommel analoge Weise, in jedem aber dennoch eine eigenthümliche seyn, und bis jezt scheint man diese Verschiedenheit noch nicht vollkommen erklären zu können.

Offenbar erzeugt die Mittheilung der Schallbewegungen am leichtesten ein Mittönen in einem andern Körper, wenn dieser, seinen Dimensionen nach, denselben Ton oder verwandte anzugeben geeignet ist. Singt man einen gewissen Ton in der Nähe einer Harfe oder eines Claviers, so wird man vorzugsweise die Saite, die denselben Ton gibt, mittönen hören, und schwach noch etwa einige Oktaven und Quinten. Dieses Mittönen von Saiten kann sogar durch Papierstreifen bemerklich gemacht werden. Ebenso wird derselbe Knall nicht jede Scheibe mittönen machen. Zuweilen ist jedoch die Erschütterung so stark, daß Gläser dadurch zerbrochen werden mögen.

Anderseits verstärkt aber ein Resonanzboden alle Töne der darauf gespannten Saiten, und dies deutet ein Mittönen bei allen an. Jedenfalls trägt dieses Mitzittern der nahen Theile bei allen Instrumenten nicht wenig zur Modifikation der Töne und zur Verstärkung und Verschönerung des Klanges bei.

Das Tönen einer in der Luft gehaltenen Stimmgabel hört man kaum, sehr gut aber, wenn sie auf einen Tisch ꝛc. gestellt wird. Hält man sie an das eine Ende eines Stabes, und bringt man das andere mit einem Resonanzboden in Berührung, so tönt dieser, wenn der Stab auch sehr lang ist. Die Schwingungen werden also durch den Stab fortgepflanzt, und können sodann noch ein Mittönen in einem geeigneten Körper hervorbringen. Der Engländer Weatstone zeigte, daß die Resonanzböden zweier entfernter Claviere durch einen Draht so verbunden werden können, daß auf dem einen Alles hörbar ist, was auf dem andern gespielt wird. (S. Poggendorfs Annalen. B. 26.)

§. 148. Bei der Fortpflanzung des Schalles ist zweierlei besonders merkwürdig. Die ausnehmende Geschwindigkeit, mit der sie geschieht, und daß vielerlei Töne zugleich fortgepflanzt werden können, ohne daß eine Verwirrung entsteht.

Viele Versuche zeigen, daß der Schall sich in gewöhnlicher und ruhiger Luft in einer Sekunde etwa 1040′ (337 Met.) weit fortpflanzt; und daraus erklären sich eine Menge Erscheinungen.

Das Abbrennen eines Geschützes sieht man in demselben Augenblicke wo es Statt hat, weil das Licht unendlich schnell sich fortpflanzt, den Knall hört man aber später. Verfließen zwischen Blitz und Knall (oder Donner) drei Sekunden, so kann man auf eine Entfernung von wenigstens 3000′ rechnen. Aus derselben Ursache hört und sieht man allerlei Bewegungen aus einer beträchtlichen Entfernung nicht in demselben Augenblicke. Operntänzer scheinen einem entfernten Zuschauer nicht im Takte zu tanzen; er hört die Musik zu spät.

Der Schall pflanzt sich auf unbestimmte Weite fort; die Stärke vermindert sich aber mit dem Quadrate der Entfernung. Schwache Töne werden daher bald unhörbar, während ein sehr starker Knall Meilen weit noch vernommen wird. Nähert man eine tönende Glocke oder Stimmgabel dem Ohre, so nimmt zusehends die Stärke des Tones zu.

Ungleich weiter pflanzt sich ein Schall hörbar fort, wenn ein Wind in der gleichen Richtung weht. Er treibt und hält gewissermaßen die Schallstrahlen zusammen. Das Gegentheil hat Statt, wenn der Wind in entgegengesezter Richtung bläst. Die Geschwindigkeit des Schalls wird indessen nur um die des Windes vermehrt oder vermindert.

Einfluß auf die Fortpflanzung hat ferner die Dichtigkeit und Wärme der Luft. Je dünner die Luft ist, desto schwächer wird der Schall. Ein Schlagwerk auf Baumwolle unter eine Luftpumpe gesezt, gibt einen immer schwächern Ton, sowie man die Luft auspumpt, und zulezt verliert er sich ganz. Umgekehrt wird der Ton immer stärker, wenn man die Luft unter der Glocke verdichtet. Auf hohen Bergen, wo die Luft dünner ist, knallt eine Pistole viel weniger.

§. 149. Wie die Luft, so pflanzen auch tropfbare Flüssigkeiten und feste Körper den Schall fort, und zwar weit schneller

noch als jene. Das Gußeisen pflanzt ihn etwa 10, das Kupfer 12, das Schmiedeisen 17, das Holz 12 — 15, das Wasser 4 — 5mal so geschwind fort als die Luft. *) — Gibt man daher an dem einen Ende einer sehr langen Röhre oder eines Geländers einen Ton, so hört das Ohr, an das andere Ende gehalten, zwei Töne; einen ersten, den der feste Körper mittheilt, und darauf einen zweiten, der durch die Luft fortgepflanzt worden.

Wie ferner der Schall in dichterer Luft stärker wird, so pflanzen ihn auch feste Körper in der Regel ungeschwächter fort. Ein leises Wort, am Ende eines Balkens gesprochen, wird am andern Ende vernommen; und ein schwacher Schlag, auf einen Schlüssel z. B., erregt einen starken Klang, wenn er mittelst eines Bindfadens mit dem Ohre verbunden wird. Daher können auch Taube zuweilen den Schall eines Körpers hören, wenn sie diesen durch einen Stab mit dem Ohre in Verbindung setzen.

Wie ferner der Wind, indem er die Schallstrahlen zusammenführt, den Schall nach gewissen Richtungen verstärkt, so pflanzt sich der Schall auch weiter fort, wenn die Luft in einer Röhre eingeschlossen ist. Diese ungeschwächtere Fortleitung durch Röhren oder Luftkanäle kann auf mancherlei Weise benuzt werden, und verdient überdies bei Anlegung der Luftheitzungen Beachtung.

Auf diesen Einfluß der Röhren, welche die Zerstreuung der Schallstrahlen hindern, gründet sich zum Theil die Wirkung der Sprachröhren, die besonders zur See sehr nützlich sind, und der Hörröhren. Selbst die scharfen Ecken, wenn zwei Mauern aneinander stoßen, pflanzen den Ton einigermaßen wie Röhren fort.

§. 150. Sehr verschieden ist die Wirkung, je nach der Beschaffenheit des Körpers, auf den die vibrirende Luft, die einen Schall fortpflanzt, stößt. Ist dieser weich und unelastisch, so kann er keine vibrirende Bewegung annehmen, und daher nicht

*) Nach Colladon pflanzt das Wasser den Schall einer Glocke 4700′ weit fort in einer Sekunde.

einmal den Schall fortpflanzen. Bettdecken u. dgl. hemmen daher fast alle Verbreitung des Schalls.

Sind hingegen die Körper, auf welche die Schallstrahlen stoßen, elastisch, so können sie nicht allein eine vibrirende Bewegung selbst annehmen, sondern sie werden zugleich auf die anstoßende Luft zurückwirken.

Daß in einem Saale, wo eine starke Musik aufgeführt wird, alle Wände und andere elastische Körper erzittern, läßt sich durch das Gefühl schon wahrnehmen. So erzittern alle Gebäude bei einem heftigen Donnerschlag; und da das Erbeben (wie beim Fahren von Wagen) oft ein Mittönen erzeugt, so schließt man gewöhnlich auf eine ungleich stärkere mechanische Erschütterung, als die wirklich Statt findende ist.

Zugleich ergibt sich aber, wenn die vibrirende Luft an einen elastischen Körper stößt, ein Zurückstoßen, oder eine Art Zurückwerfung der Schallstrahlen; und diese hat nach den Gesetzen der elastischen Körper Statt, d. h. der Schall wird so reflektirt, daß der Ausfallswinkel dem Einfallswinkel gleich ist. (S. Fig. 92.)

Daraus erklären sich noch manche akustische Wirkungen. Spricht oder musizirt man in einem Saale, so ist der Effekt auf unser Ohr stärker als im Freien. Die Schallstrahlen werden nämlich von den Wänden zurückgeworfen, und auch diese gelangen in unser Ohr. Je nackter und leerer das Zimmer ist, desto stärker ist gewöhnlich der Effekt, denn Teppiche, Betten, Kleider 2c. bewirken kein Abprallen des Schalls. Umgekehrt läßt sich der Ton durch Aufstellen von elastischen Flächen verstärken. Ruft man in einen hohlen Körper, ein Faß, einen Hut — so hört man einen ungleich stärkern Schall.

In großen Sälen, in Kirchen u. dgl. kommt noch besonders die Zeit, welche die Fortpflanzung erfordert, in Betracht. Man hört dann jeden Schall zwei- oder mehrere Male, und der Ton der Sprechenden wird dadurch leicht undeutlich. Ist die Wand, von der unsre Worte abprallen, 80′ von uns entfernt, so hören

wir jeden Laut etwa $1/6$ Sekunde später zum zweiten Male, wenn gleich schwächer, da in dieser Zeit der Schall etwa 160′ Weg zurücklegt.

§. 152. Erzeugt eine solche Zurückwerfung recht vernehmbar einen zweiten Schall, so nennen wir diese Erscheinung ein **Echo**. Da wir leicht 5 — 6 Sylben in einer Sekunde aussprechen können, so muß eine Mauer, die eine Sylbe deutlich wiederholen soll, wenigstens 100, und um fünf Sylben zu wiederholen, an 500′ von uns abstehen. Damit jedoch ein deutliches Echo sich bilde, scheinen mehrere, noch nicht genug bekannte Umstände zusammentreffen zu müssen. Nicht jede Wand oder Mauer gibt auch in der gehörigen Entfernung ein Echo. Umgekehrt geben selbst unebene Körper, wie Felsen und Bäume, häufig ein Echo. Leicht begreiflich ist aber, daß wenn zwei wiederhallende Massen einander gegenüber stehen, mehrfache Echos entstehen können; und ebenso, daß ein Echo oft nicht von dem Rufenden, sondern von einer an einem andern Orte befindlichen Person vernommen wird, was zu sonderbaren Täuschungen führen kann.

Wichtig für den Baumeister ist oft die Lehre von den Zurückprallungsgesetzen des Schalls.

Orchester und Theaterbühnen sollen so gebaut seyn, daß der Schall vom Hintergrunde möglichst gleichmäßig in den ganzen Zuhörerraum zurückgeworfen werde.

Wäre ab (Fig. 63) ein elyptisch gestaltetes Gewölbe, und c und d die zu dieser Krümmung gehörenden Brennpunkte, so würde (nach mathematischen Gesetzen) der leiseste bei c oder d gesprochene Ton, wenn sonst fast nirgends, doch im andern Brennpunkte hörbar seyn. Auch durch dergleichen geschickt angebrachte reflektirende Flächen lassen sich allerlei akustische Täuschungen bewirken.

§. 153. Die **Beurtheilung der Richtung**, von der ein Ton herkommt, ist hauptsächlich Sache der Uebung. Verstopfen wir ein Ohr, so daß wir nur mit einem Ohre hören, so können wir meist die Richtung nicht mehr unterscheiden, weil uns die Erfahrung fehlt. Bei gewissen Veränderungen der Stimme

können gesprochene Worte gerade den Eindruck auf einen Hörenden machen, als wenn sie von einer andern Richtung herkämen. Leute, die auf diese Weise mit ihrer Stimme täuschen, heißen Bauchredner. *)

Daß wir bei Nacht fernere oder leisere Töne hören, kommt zum Theil wohl von der verschiedenen Beschaffenheit der Nachtluft, zum Theil aber von der allgemeinen Stille und der dann größern Empfänglichkeit des Hörorgans her.

*) Sehr oft täuscht man sich auch darin, daß man ein nahes schwaches Geräusch, das man vernimmt, für ein entferntes starkes Getöse hält, weil beide einen gleichen Eindruck auf das Gehör machen. Und daraus, berücksichtigen wir noch den Einfluß der Einbildungskraft, erklären sich eine Menge Geschichten von abentheuerlichen Tönen. Manches darüber s. in Brewsters Magie der Natur. 1833.

Neunter Abschnitt.

Von der Wärme.

§. 154. Derselbe Körper kann auf eine sehr verschiedene Weise unser Gefühl affiziren. Wir nennen ihn, je nachdem er diese oder jene Empfindung erregt, warm oder kalt, und bezeichnen auch diese ungleiche Beschaffenheit des Körpers mit dem Namen *Temperatur*. Die Ursache der verschiedenen Temperatur und der diese Zustände begleitenden Erscheinungen nennen wir die *Wärme*.

Was die Wärme wirklich ist, wissen wir nicht zuversichtlich. Am leichtesten und natürlichsten erklären sich aber alle Wirkungen derselben, wenn wir sie als eine überaus feine Flüssigkeit oder Materie betrachten, und wir schreiben demnach alle jene Erscheinungen einem besondern Stoffe, dem *Wärmestoff*, zu.

Man hat nicht nöthig, einen Kältestoff anzunehmen, denn jede Erkältung läßt sich als eine Verminderung der Wärme denken. Es folgt daraus nur, daß jeder kalte Körper, insofern er noch kälter werden könnte, noch etwas Wärmestoff besitzen muß.

§. 155. Ist der Wärmestoff etwas Materielles, so muß er sich von andern Materien dadurch unterscheiden, daß er 1) nicht schwer oder wenigstens nicht *wägbar* ist: denn man hat noch nie finden können, daß das Gewicht eines Körpers in Folge der Erwärmung vermehrt wurde: 2) daß er sich nicht abgesondert darstellen läßt, und 3) daß er alle Körper durchdringen kann.

Dem Wärmestoff müssen aber ferner noch folgende Eigenschaften zukommen:

1) Er sucht beständig aus wärmern Körpern in minder warme überzugehen, bis sie alle dieselbe Temperatur haben.

2) Er vermag alle Körper, indem er sie durchdringt, mehr oder weniger auszudehnen. Und von dieser Wirkung ist wahrscheinlich sogar die auf unser Gefühl abzuleiten.

3) Er kann in den Körpern auf eine doppelte Weise vorhanden seyn, nämlich a) als freier oder sensibler, und b) als gebundener oder latenter Wärmestoff, der nicht auf das Gefühl wirkt.

§. 156. Da die Körper um so mehr sich ausdehnen, je höher ihre Temperatur ist, und da sich berührende Körper bald dieselbe Temperatur annehmen, so lassen sich leicht Werkzeuge herstellen, welche den Temperaturgrad anzeigen. Solche Werkzeuge heißen Thermometer.

Gewöhnlich bestehen die Thermometer aus einer hohlen, mit einer engen Röhre versehenen Glaskugel a (Fig. 64), die mit Quecksilber gefüllt ist. Taucht man die Kugel zuerst in (schmelzenden) Schnee und darauf in siedendes Wasser, so wird sich, wenn die Röhre eine angemessene Länge und Weite hat, das Quecksilber darin zuerst bis auf einen Punkt e zusammenziehen, und darauf bis auf einen andern s ausdehnen. Jenen heißt man den Eispunkt und diesen den Siedepunkt, und theilt nun den Abstand in eine gewisse Anzahl gleicher Theile oder Grade ein.

Theilt man denselben in 80 Grade (°), so heißt die Eintheilung oder Skale eine Reaumursche. (A.)

Theilt man sie in 100°, so heißt sie eine Centesimalskale (s. B).

Theilt man sie in 180°, so heißt sie eine Fahrenheitsche (s. C).

Bei den beiden ersten bezeichnet man den Eispunkt mit 0°. Bei der Fahrenheitschen mit 32. Bei allen setzt man die Gradeintheilung unter 0, sowie über dem Siedepunkte fort.

Der Siedepunkt steht daher auf 80° R (oder der Reaumur-schen Skale) auf 100° C (oder der Centesimalskale) und auf 32 + 180 oder 212° F (oder der Fahrenheitschen Skale).

Ferner sind 4° R = 5° C = 9° F, und es läßt sich demnach leicht finden, welche Temperaturgrade auf den verschiedenen Skalen einander korrespondiren.

So sind 20° R = 25° C = 32 + 36 = 68° F.

— 6° C bedeutet eine Temperatur von 6° C unter dem Eispunkte oder unter 0.

Verbreitung der Wärme.

§. 157. Ein Körper kann seinen Wärmestoff auf zweifache Weise abgeben, durch Ausstrahlung oder durch Mittheilung.

Ausstrahlung. Ein Körper strahlt Wärme aus, wenn Wärmetheilchen ihn verlassen und sich von ihm (sowie das Licht) in geraden Linien und mit unmeßbarer Geschwindigkeit nach allen Richtungen verbreiten. Diese Ausstrahlung hat nur im leeren Raume oder der Luft Statt.

Auf diese Weise verbreitet ein heißer Körper, ein Feuer rc. nach allen Seiten Wärme. Treffen die Wärmestrahlen einen Körper, der sie nicht durchläßt, so wird dieser, insofern er die Wärmetheilchen aufnimmt, erwärmt; oder die Strahlen werden von ihm (wie Lichtstrahlen) zurückgeworfen. Fallen die Wärmestrahlen eines sehr heißen, wenn gleich dunklen Körpers auf einen Spiegel, so daß die zurückgeworfenen sich in einem Punkte durchschneiden, so zeigt ein in diesem Punkt gehaltener Thermometer eine sehr merkliche Temperaturerhöhung.

Auf die Ausstrahlung hat übrigens auch die Beschaffenheit der Oberfläche bedeutenden Einfluß. Rauhe und schwarze Körper strahlen weit mehr Wärme aus, als weiße und glatte. Eine in einem blanken Gefäße enthaltene heiße Flüssigkeit erkaltet daher weit langsamer, als wenn das Gefäß aussen rauh oder mit Ruß geschwärzt ist. *)

*) Nach Peclet verbreitet sich etwa $^1/_4$ der bei brennendem Holz erzeugten Wärme als strahlende, und bei brennenden Kohlen fast $^1/_3$.

§. 158. Mittheilung. Wir nennen also den Uebergang des Wärmestoffs aus einem heißeren Körper in andere, die ihn berühren, bis die Temperatur die gleiche ist.

Berühren wir einen heißeren Körper mit der Hand, so fühlen wir Wärme, weil Wärme aus jenem in diese übergeht; wir fühlen umgekehrt Kälte, wenn der berührte Körper eine geringere Temperatur hat, und er daher der Hand Wärme entzieht. *)

§. 159. Leitungskraft. Der Uebergang der Wärme aus einem Körper in einen andern, und die Mittheilung oder Fortpflanzung derselben in dem erwärmten geschieht bald schneller, bald langsamer. Es rührt dies theils daher, daß mehr oder weniger Theile sich berühren, theils von der sonstigen Natur der Körper.

Substanzen, die schnell die Wärme aufnehmen und verbreiten, heißen Wärmeleiter; solche, an die sie sich langsam mittheilt, Nichtleiter oder auch Warmhaltende.

Die Metalle gehören zu den vorzüglichsten Leitern. Hält man das eine Ende einer Nadel in's Feuer, so wird das andere bald sehr heiß. Ein kurzes Stäbchen Holz kann hingegen an einem Ende brennen, ohne daß an dem andern die mindeste Wärme fühlbar ist. Feuchtes Holz leitet die Wärme schon ziemlich gut. Auch durch das Metall pflanzt sich jedoch die Wärme nicht leicht weit fort. Eine mehrere Fuß lange Eisenstange kann am einen Ende glühend seyn, ohne daß man am andern Wärme verspürt.

Jeder Körper kann indessen nur durch das Ausstrahlen gegen kältere Wärme verlieren. Die am Tage wärmer gewordene Erdfläche wird in der Nacht kälter, weil sie Wärme gegen den kalten Himmelsraum ausstrahlt, und um so mehr, je heller der Himmel ist.

*) Ein heißer Körper verliert in der Luft Wärme theils durch Ausstrahlung, theils durch Mittheilung. In kaltes Wasser getaucht bloß durch Mittheilung an das Wasser.

Zu den Substanzen, welche die Wärme sehr langsam aufnehmen und also nicht leicht durchlassen, oder warmhaltend sind, gehören Wolle, Pelz, Asche, Kohle und auch die Luft. *)

§. 160. Die ungleiche Leitungskraft der Körper macht, daß das Gefühl uns oft über ihre wirkliche Temperatur täuscht. Alle Gegenstände in einem Zimmer z. B. müssen offenbar dieselbe Temperatur haben, wenn seit geraumer Zeit keiner besonders erwärmt oder erkältet worden ist; denn die Temperatur sezt sich allmählig in's Gleichgewicht. Und dies beweist auch ein Thermometer. Berühren wir jedoch verschiedene, oft ganz nahestehende Körper mit der Hand, so fühlt sich Holz kälter als ein Tuch, Stein kälter als Holz, Metall noch kälter als Stein an. Dies rührt bloß daher, daß alle zwar kälter als die Hand sind, das Metall ihr aber weit am schnellsten, und die Wolle am langsamsten Wärme entzieht. Allerdings erkälten wir uns weit eher, wenn wir zumal mit bloßen Füßen auf einem steinernen Boden stehen, als auf einem Teppiche; gewiß jedoch haben beide dieselbe Temperatur.

Umgekehrt fühlt sich eine in eine Ofenröhre gelegte Münze viel heißer als eine hölzerne Platte an, wenn gleich beide dieselbe Temperatur erlangt haben werden, weil das Metall der Hand schneller die Wärme abtritt, als das Holz.

Obschon die Luft in der Regel weit kälter ist als unser Körper, so fühlen wir doch wenig Kälte, weil die Luft eine sehr dünne Materie ist; und ein Bad kommt uns meist weit kälter als die Luft vor, wenn gleich das Wasser wärmer ist, weil auf einmal sehr viele materielle Theile den Körper berühren, und ihm Wärme entziehen. Und doch gehört das Wasser nicht einmal zu den guten Wärmeleitern; denn schüttet man auf Wasser ganz sachte heißes Oel, so bleibt es bis nahe an die Oelschicht beinahe ganz kalt.

§. 161. Auf dieses **ungleiche Leitungsvermögen** der Körper gründen sich vielfache **Anwendungen**.

---

*) Kohlenmeiler bleiben daher oft Wochenlang glühend heiß.

Je kälter die äussere Luft ist, desto mehr suchen wir unsern Körper durch warmhaltende Kleidungen gegen den Verlust seiner innern Wärme zu schützen.

Durch eine Bedeckung mit Wolle ꝛc. können wir einen heißen Körper sehr lange warm erhalten, und ebenso ein Stück Eis vor dem Zerfließen in wärmerer Luft schützen. Eisgruben werden daher mit Holz und Stroh bedeckt.

Eiserne Oefen heizen schneller als irdene, werden aber viel eher wieder kalt. In metallenen Pfannen brennen Speisen leichter an, als in irdenen. Manche metallene Gegenstände, die sehr heiß werden, versehen wir mit hölzernen Griffen, um sie ohne Verletzung handhaben zu können. Da Schnee die Wärme wenig leitet, so schüzt eine Schneedecke die Erde vor dem Frost. Da eingeschlossene Luft ein schlechter Leiter ist, so halten Doppelfenster und Doppelthüren die Wärme in einem Zimmer zurück. In manchen Fällen kann die Umgebung eines Körpers mit Asche, Kohlenpulver oder Sägespänen trefflich dienen, um den Wärmeverlust zu verhüten. Ebenso können Gehäuse, in denen Luft eingeschlossen ist (z. B. doppelte Deckel), die Wärme trefflich zurückhalten.

Von der Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

§. 162. Alle Körper dehnen sich aus, wenn sie erwärmt werden, oder ihre Temperatur erhöht wird; die festen dehnen sich jedoch weniger als die tropfbarflüssigen, und diese ungleich weniger als die elastischflüssigen (die Luft- und Dampfarten) aus. Eine zugebundene schlaffe Blase schwillt über glühenden Kohlen sehr stark auf.

Die festen Körper dehnen sich nur sehr wenig aus. Auf 100° C oder 80° R beträgt die Ausdehnung

Des Kupfers nur $^1/_{582}$.

Des Messings „ $^1/_{532}$.

Des Zinks „ $^1/_{340}$.

Des Bleis „ $^1/_{351}$.

Des Schmiedeisens nur $1/_{819}$.
Des Gußeisens „ $1/_{901}$.
Des Zinns „ $1/_{516}$.
Des Goldes „ $1/_{672}$.
Des Platins „ $1/_{1168}$.
Des Glases „ $1/_{1120}$.
Des Marmors „ $1/_{1180}$.

So unbeträchtlich diese Ausdehnung ist, so werden die Wirkungen doch oft sehr merklich. Zudem geschieht sie mit ausnehmender Kraft.

Spannt man z. B. eine starke eiserne Stange zwischen zwei Säulen, und erhizt man sie, so wird sie verlängert, und die Säulen werden auseinander gerückt.

Bei Dampfheizungen werden die Röhren oft um 70° R erwärmt, oder von 10° auf 80°. Ist eine solche Röhre von Kupfer und 100′ lang, so dehnt sie sich um $\frac{70}{80} \times \frac{100'}{582}$ oder um fast 2″ aus.

§. 163. Diese Ausdehnung ist allgemein, genau genommen, aber nicht ganz regelmäßig. Gewöhnlich ist sie, wenn der Körper schon sehr heiß ist, etwas beträchtlicher. Nur dann wird das Volum bei der Erwärmung zuweilen kleiner, wenn der Körper eine sonstige Veränderung erleidet.

So schwindet namentlich der Thon oder feuchtes Holz in der Hitze, indem diese zugleich eine Austrocknung und Zusammensinterung bewirkt.

Ebenso gibt 1 Cub.′ Eis geschmolzen nicht 1 Cub.′ Wasser, sondern wenig über $9/_{10}$. Hier hat jedoch eine gänzliche Formänderung Statt. Das Wasser dehnt sich aus, indem es fest oder zu Eis wird, weil die Theile sich krystallinisch zusammenfügen und darum mehr Raum einnehmen, und weil kleine leere Räumchen entstehen. *) Aehnliches hat bei einigen andern Substanzen Statt.

*) Auch Luftleeres dehnt sich aus. Doch ist die Ausdehnung nicht immer dieselbe. Manches Eis ist nur um $1/_{14}$ leichter als Wasser. Jedenfalls hat auch diese Ausdehnung mit großer Kraft Statt.

§. 164. Wird ein Körper plötzlich und stark erhizt oder erkältet, so können sich nicht alle Theile gleichmäßig ausdehnen oder zusammenziehen. Er kann daher, zumal wenn er spröde oder eine schlechtleitende Substanz ist (wie z. B. Glas), leicht zerspringen. Wird glühendes Glas nicht sehr allmählig (in langsam erkaltenden Oefen, oder Verkühlöfen) abgekühlt, so wird es oft so spröde, daß es bei der geringsten Verletzung, oder bei gewissen zufälligen Veränderungen (einem Temperaturwechsel oder einer Erschütterung), wie von selbst zerspringt. Glasmasse, in kaltes Wasser getropft, gibt die auffallend spröden sogenannten Glastropfen.

Manche Metalle werden, wenn sie durch Pressen oder Schlagen spröde geworden, durch starke Erhitzung (Ausglühen) wieder duktil. Man benuzt diese Wirkung, um den Draht, das Blech, die Münzzainen ꝛc. von Zeit zu Zeit wieder geschmeidig zu machen.

Eine eigene Wirkung hat die Erwärmung auf das an sich ziemlich spröde Zinkmetall. Auf etwa 100° erwärmt, läßt es sich leicht walzen und ziehen, und bleibt dann auch, nachdem es erkaltet, dehnbar.

Sowie endlich der Stahl durch plötzliches Abkühlen (durch Eintauchen des glühendheißen in eine kalte Flüssigkeit) sehr hart und spröde wird, so wird umgekehrt die spröde Bronze (eine Mischung von Kupfer und ¼ etwa Zinn) durch dasselbe Verfahren geschmeidig und hämmerbar.

Alle diese Veränderungen rühren ohne Zweifel von der Verschiebung der Theile bei der Ausdehnung oder Zusammenziehung durch die Erwärmung oder Erkältung her; es ist indessen kaum zu erklären, warum der Effekt bei gewissen Metallen so verschieden ist.

§. 165. Die Ausdehnung der tropfbarflüssigen Substanzen ist beträchtlich größer. Von 0° bis auf 100° C dehnt sich aus:

Das Quecksilber um $^1/_{55}$ (0,0188).
Das Wasser „ $^1/_{22}$ (0,0456).
Das Leinöl „ $^1/_{14}$ (0,0725).
Der Weingeist „ $^1/_{19}$.

Die Ausdehnung des Wassers nimmt jedoch sehr merklich zu, sowie es wärmer wird. *) Von $0^0 - 30^0$ nimmt das Volum nur um $^4/_{1000}$ zu; von $30^0 - 60^0$ um $^{14}/_{1000}$; von $60^0 - 90^0$ um $^{21}/_{1000}$ und von $90^0 - 100^0$ um $^8/_{1000}$. Ebenso dehnt sich der Weingeist nur von $0^0 - 40$ oder 50^0 ziemlich gleichförmig aus, von da an aber um Vieles mehr. Fast regelmäßig ist innert jener Grenzen hingegen die Ausdehnung des Quecksilbers und des Leinöls.

Es folgt daraus, daß 1004 Maaß Wasser, von 30^0 auf 60^0 erwärmt, etwa 1018 Maaß geben — und ebenso, daß alle Flüssigkeiten durch die Erwärmung spezifisch leichter werden müssen. Es ist hiemit die Temperatur einer Flüssigkeit stets zu berücksichtigen, wenn aus dem spezifischen Gewichte derselben auf ihre Stärke geschlossen werden soll.

Es erklärt sich daraus ferner, daß Wasser und andere Flüssigkeiten, so schwer sie sich als schlechte Leiter von oben erwärmen lassen, doch von unten leicht zu erwärmen sind. Sowie nämlich die am Boden befindlichen Wassertheile Wärme erhalten, werden sie etwas leichter, und erheben sich daher, so daß beständig neue und kältere Theile mit dem heißen Boden in Berührung kommen. Diese Cirkulation, wodurch sich allmählig die ganze Masse erwärmt, ist leicht wahrzunehmen, wenn man den Versuch mit trüben Flüssigkeiten anstellt.

§. 166. Sehr bedeutend ist die Ausdehnung der Luft- und Dampfarten durch die Wärme und zwar durchaus gleichförmig und für alle Arten dieser Flüssigkeiten dieselbe.

---

*) Das Wasser ist übrigens bei 4^0 am dichtesten; indem es bis 0 erkaltet, dehnt es sich etwas aus.

Genaue Versuche lehren nämlich, daß alle elastische Flüssigkeiten sich stets für 1° C um $^1/_{267}$, oder für 1° R um $^1/_{213}$ ihres Volums bei 0° ausdehnen.

Erwärmt man 20 Cub.′ von 0° C auf 25° — so wird das Volum um $\frac{25}{267}$ vermehrt, oder $= 20 \times \frac{267 + 25}{267} = 21\frac{235}{267}$ Cubik.′

Erkältet man 30 Cub.′ Luft von 20° R auf 8° oder um 12°, so wird das Volum auf circa $28^1/_2$ vermindert.

Denn $30 \times \frac{213 + 8}{213 + 20}$ oder $30 \times \frac{221}{233} = 28\frac{106}{233}$.

Erwärmt man 50 Cub.′ Luft von 16° C auf 120° oder um 104°, so wird das Volum

$$= 50 \times \frac{267 + 120}{267 + 16} = 68\frac{106}{283} \text{ Cub.}'$$

§. 167. Auch die Luft wird durch die Erwärmung spezifisch leichter, und darum muß eine untere Luftschicht, sowie sie erwärmt wird, steigen. Eine Menge Erscheinungen erklären sich daraus.

Die oft sich ändernde Temperatur einzelner Luftmassen erzeugt allerlei Bewegungen der Atmosphäre oder die Winde; und ähnliche Luftströmungen ergeben sich in Zimmern, die geheizt werden. Ferner wird daraus begreiflich das Aufsteigen der mit erwärmter Luft gefüllten Ballons oder der Montgolfieren, und der Zug der Schornsteine.

Da die wärmere Luft leichter ist, so werden die obersten Luftschichten eines Zimmers immer am wärmsten seyn. Oeffnet man einige Zoll weit eine Thüre zwischen einem kalten und warmen Zimmer, so wird eine in die Oeffnung gehaltene Lichtflamme zeigen, daß oben warme Luft ab= und unten kalte zuströmt. In der Nähe eines heißen Ofens hat ein beständiger Luftwechsel Statt. Die warm gewordene Luft steigt fortwährend in die Höhe und wird wieder durch kalte ersezt. Sezt man auf einen Ofen eine senkrechte Nadel mit einem kegelförmig gewundenen

Papierstreifen, so bringt ihn die aufsteigende warme Luft in eine anhaltende rotirende Bewegung.

Verschiedene Arten von Thermometer.

§. 168. Die Einrichtung der gewöhnlichen Thermometer gründet sich, wie schon gezeigt wurde, auf die Ausdehnung der Flüssigkeiten. Quecksilberthermometer sind in der Regel die brauchbarsten, da das Quecksilber erst bei 350° C kocht, und die Skale also weit über den gewöhnlichen Siedepunkt fortgesezt werden kann. Thermometer mit gefärbtem Weingeist sind nur bis 50 oder 60° recht tauglich, bequem aber, weil die Ausdehnung beträchtlicher ist und also die Grade größer seyn können, und allein brauchbar zur Beobachtung der größten Kältegrade, weil das Quecksilber bei 39° C unter 0 gefriert, und früher schon sich unverhältnißmäßig zusammenzieht.

§. 169. Da alle Flüssigkeiten unbrauchbar sind, um noch höhere Temperaturen zu messen, so hat man feste Körper zu diesem Behufe anzuwenden gesucht, und solche Werkzeuge Pyrometer (Feuermesser) genannt.

Aus Fig. 65 läßt sich die Einrichtung einer Art Pyrometer erkennen. a ist eine Metallstange, die an b fest anliegt, und von unten (z. B. durch Lampen) erhizt werden kann. Wie sie erhizt wird, verlängert sie sich, und stößt demnach an den kurzen Arm des Hebels c, so daß der ungleich längere d schon eine sehr kleine Ausdehnung bemerklich macht.

Diese Vorrichtung zeigt indessen deutlich zwar die Ausdehnung von Metallstäben u. a. durch die Hitze, läßt sich indessen nicht wohl in ein gegebenes Feuer bringen, um den Temperaturgrad desselben zu bestimmen. *)

Anwendbarer ist der von Wegdwood eingeführte Pyrometer. Er gründet sich auf die Eigenschaft des Thons, sich im

---

*) Die Construction eines ähnlichen, zum praktischen Gebrauche eingerichteten Pyrometers s. in Dumas Chemie.

Feuer zusammen zu ziehen, und um so mehr, je größer die Hitze ist, beim Kaltwerden aber nicht das Volum wieder zu verändern. *) Hat man daher kleine Thoncylinder a (Fig. 66), die genau bei i zwischen zwei zusammenlaufende Stäbe b und c passen, und bringt man einen solchen Cylinder darauf in ein Feuer, so wird er sich um so weiter zwischen jene Stäbe einschieben lassen, je größer die Hitze war, die er erlitten. Auf die Stäbe wird eine Skale verzeichnet.

Diese Vorrichtung ist einfach und für die stärksten Hitzgrade anwendbar. Auch zeigt ohne Zweifel jede stärkere Contraktion eine größere Hitze an. Man weiß indessen nicht, ob die Zusammenziehung der Hitze proportional ist, wie vielen Graden anderer Thermometer 1° W oder der Wedgwoodschen Skale gleich kommt. Viele nehmen an, 1° W sey = 500 C und jeder Grad W = 70° C, und schätzen daher 100° W mehr als 7000° C gleich, und demnach die größte Hitze in einigen Oefen, die 159 — 160° W gefunden wird, auf 10,000° und mehr. Es ist jedoch nicht erwiesen, daß diese Art der Vergleichung richtig ist.

Bis jezt fehlt es also noch an einem ganz tauglichen Werkzeuge, um hohe Hitzgrade zu messen.

Löthet man 2 (oder 3) dünne Streifen von zweierlei Metall aneinander, so erleiden sie bei jeder Erwärmung eine Krümmung, wenn das eine Metall auch um Weniges nur sich mehr ausdehnt als das andere. Man hat auch nach diesem Prinzip in neuerer Zeit Thermometer construirt.

§. 170. Die starke Ausdehnung der Luft endlich läßt sich leicht zu Apparaten benutzen, um die kleinsten Temperaturveränderungen zu bemerken und abzumessen. Ist a (Fig 67) eine kleine mit Luft gefüllte Glaskugel, und b ein in einer engen damit verbundenen Röhre enthaltener Wassertropfen, so wird die geringste Erwärmung oder Erkältung der Kugel eine Verrückung

*) Und dies zeigt auch, daß die Zusammenziehung keine reine Wirkung der Wärme ist.

jenes Tropfens zur Folge haben. Dergleichen empfindliche Wärmemesser nennt man Thermoscope.

Wärmegehalt und Capazität.

§. 171. Der Thermometer zeigt bloß die Temperatur eines Körpers (d. h. die ausdehnende Kraft seiner freien Wärme) an, keineswegs aber die Menge Wärmestoff, die er enthält. Daß ein Körper von 0^0 noch viele und zwar freie Wärme in sich hat, ist nicht zu bezweifeln, denn er kann noch weit kälter werden, d. h. noch immer Wärme verlieren; und wir wissen nicht, bei welchem Grade unter Null die Materie absolut kalt, d. h. ganz ohne Wärme wäre. *)

Ohne Zweifel ist bei gleicher Temperatur in 5 Pf. Wasser z. B. 5mal mehr Wärme als in 1 Pf., und ebenso muß 1 Pf. Wasser 5mal mehr Wärme erhalten, wenn es um 5^0 oder 10^0, als wenn es um 1 oder 2^0 wärmer werden soll. Geht man daher von einer gewissen Temperatur, von der bei 0^0 z. B. aus, und berücksichtigt man nicht die Wärmemenge, die ein Körper bei dieser Temperatur haben mag, sondern nur die hinzugekommene bei einer höhern, so läßt sich allerdings die Wärmemenge bestimmen und messen. Ohne Zweifel läßt sich dann nämlich sagen, 1 Pf. Wasser von 20^0 enthalte 4mal mehr als 1 Pf. von 5^0. Auch können wir das Quantum Wärme, das z. B. nöthig ist, um 1 Pf. Wasser um 1^0 C wärmer zu machen, als eine Maaßeinheit annehmen.

Nennen wir also jenes Quantum W, so ist (insofern von aller Wärme bei 0^0 abstrahirt wird) die Wärme in 70 Pf. Wasser $= 70^0$ W; und die in 6 Pf. Wasser von $25^0 = 150$ W (6×25).

Schüttet man zwei Quantitäten Wasser von verschiedener Temperatur untereinander, so wird sich leicht die des Gemisches bestimmen lassen, vorausgesetzt, daß keine Wärme verloren geht.

---

*) Man hat Ursache zu vermuthen, daß erst bei etwa — 600^0 ein Körper absolut kalt wäre.

Schüttet man z. B. 5 Pf. von 20° zu 10 Pf. von 60°, so enthalten die ersten 100 W, die andern 600 W; die 15 Pf. also 700 W; und die Temperatur wird $= \frac{700}{15} = 46^{2}/_{3}°$ seyn.

Mischt man 1 Pf. von 100° mit 1 Pf. von 0°, so erhält man 2 Pf. von 50°.

Ganz andere Resultate findet man aber, vermischt man verschiedenartige Substanzen.

Vermengt man z. B. 1 Pf. Eisenfeilspäne von 100° mit 1 Pf. Wasser von 0°, so zeigt das Gemenge bloß eine Temperatur von 10°. Obschon das Eisen um 90° kälter geworden, hat sich das Wasser nur um 10° erwärmt. Das Wasser hat also 10 W erhalten, und ebensoviel das Eisen verloren, und es muß hiemit dasselbe Wärmequantum, das 1 Pf. Wasser um 10° nur wärmer macht, 1 Pf. Eisen um 90° wärmer machen können.

Man nennt diese Eigenthümlichkeit der Körper ihre Wärmecapazität, und sagt demnach, die des Wassers sey 9mal größer als die des Eisens, weil 9mal mehr Wärme erforderlich ist, um in dem Wasser dieselbe Temperaturerhöhung zu bewirken.

Setzen wir die Capazität des Wassers = 1, so ist die des Eisens = 0,11.

Die des Kupfers, Eisens und der Bronze = 0,11 (oder $^{1}/_{9}$).

Die des Zinns = 0,07. Des Goldes = 0,05.

Des Bleis = 0,04. Des Quecksilbers = 0,03 ($^{1}/_{33}$).

Der harten Hölzer und mehrerer Oele = 0,5.

Die der Luft = 0,26 ($^{1}/_{4}$).

Die des Wasserstoffgases = 3,3.

§. 173. Die Berücksichtigung der Capazität ist sehr oft gar wichtig.

Man sieht, daß sich aus der Temperatur nicht auf die Wärmemenge schließen läßt.

Daß, wenn glühendes Eisen 700° heiß ist, mehr Wärmestoff erforderlich ist, um 1 Pf. Wasser auf 100° zu erhitzen, als um 1 Pf. Eisen glühend zu machen.

Daß 1 Pf. glühendes Eisen weniger Wärme abgeben kann, als 1 Pf. kochendheißes Wasser.

daß dasselbe Quantum Wärme, das 1 Pf. Wasser von 0° zum Sieden erhizt, 1 Pf. Luft auf 400° erwärmen kann u. a. m.

Latenter Wärmestoff.

§. 174. Wird auf Schnee oder zerstoßenes Eis heißes Wasser geschüttet, so schmilzt davon mehr oder weniger. Man muß auf 1 Pf. Schnee von 0° wenigstens $^3/_4$ Pf. Wasser von 100° gießen, damit aller schmelze, allein auch dann zeigt das Gemenge eine Temperatur = 0°. Ist nun anzunehmen, daß wenig oder kein Wärmestoff entweichen konnte, so muß bei dieser Verwandlung des Schnees in Wasser Wärmestoff für Gefühl und Thermometer unwirksam geworden seyn, und zwar ein Quantum = 75 W. Und da derselbe unmöglich verschwunden oder zernichtet seyn kann, so muß er bloß durch eine besondere und innigere Verbindung mit der Wassersubstanz unfähig geworden seyn, die gewöhnlichen Wirkungen der Wärme hervorzubringen. Man nennt den in diesem Zustande vorhandenen latenten oder gebundenen Wärmestoff, zum Unterschiede von dem auf das Gefühl wirkenden freien oder sensiblen.

Sowie wir nicht wissen, wie viel freie Wärme überhaupt ein Körper enthält, so kennen wir auch nicht seinen Gehalt an latenter; aus dem Obigen erhellt aber, daß 1 Pf. Wasser von 0° 75 W mehr an latenter Wärme in sich haben muß, als 1 Pf. Schnee oder Eis von 0°, und daß ebensoviel freie Wärme in latente verwandelt werden muß, so oft 1 Pf. Schnee zu Wasser wird.

§. 175. Diese Thatsache gibt uns ein treffliches Mittel an die Hand, um das Wärmequantum, das ein Körper abgibt, und seine Capazität zu erfahren. Finden wir nämlich, daß z. B. 1 Pf. Eisen von 225° C bis es auf 0° erkaltet ist, $^1/_3$ Pf. Schnee zu schmelzen vermag, so geht daraus hervor, daß es 25 W abgegeben hat, und hiemit, daß seine Capazität $\frac{25}{225}$ oder $^1/_9$ von

der des Wassers ist; denn 1 Pf. Wasser von 25° schmilzt 1/5 Pf. Schnee.

Treffen wir eine Einrichtung, daß alle beim Verbrennen einer Substanz sich entwickelnde Wärme in Schnee übergeht und diesen schmilzt, so können wir aus der Menge geschmolzenen Schnees finden, wieviele Hitze z. B. 1 Pf. Kohle, Holz, Talg rc. während des Verbrennens erzeugt. Apparate zu solchen Versuchen heißen Calorimeter.

Da so sehr viele Wärme zur bloßen Flüssigmachung des Wassers erforderlich ist, so wird begreiflich, warum große Eis- und Schneemassen so langsam zerschmelzen, wenn gleich die Temperatur der Luft weit über 0° ist.

Umgekehrt muß aber eben so viel latente Wärme sich in freie verwandeln, wenn 1 Pf. Wasser fest wird oder gefriert. Dieses Freiwerden des Wärmestoffs ist schwerer zu beobachten.*) Indessen zeigt auch schon das langsame Gefrieren bedeutender Wassermassen, wenn gleich die Luft weit unter 0° erkältet ist, diese Entbindung an.

Aehnliches hat beim Flüssigwerden anderer Körper Statt. Man kann annehmen, daß immer beim Uebergang eines festen Körpers in den Zustand der Flüssigkeit mehr oder weniger freie Wärme latent wird; und daß umgekehrt latente frei wird, wenn eine flüssige Substanz zu einer festen wird.

§. 176. Dasselbe endlich ergibt sich, wenn ein Körper die Form einer expansibeln Flüssigkeit annimmt, oder diese verliert.

Um 1 Pf. Wasser von 0° bis zum Kochen zu erhitzen, braucht es 100 W, um dasselbe aber zu verdampfen, müssen ihm noch 540 W zugeführt werden. Man erhält dann 1 Pf. Dampf.

---

*) Setzt man destillirtes, d. h. ganz reines und luftleeres Wasser mit etwas Oel bedeckt, und so, daß es keinerlei Erschütterung erleidet, einer starken Kälte aus, so sinkt die Temperatur oft 5° und mehr unter 0, ohne daß es gefriert. Wird es nun aber mit einer Eisnadel berührt, so wird plötzlich ein Theil des Wassers zu Eis, die Temperatur des übrigen steigt aber auf 0.

Dieser ist aber nicht heißer als das kochende Wasser. Er zeigt ebenfalls 100°. Die 540 W müssen also latent geworden seyn, und der Dampf 640 W enthalten. Und dies ergibt sich aus folgendem Versuche unzweideutig. Läßt man 1 Pf. Dampf in $5^4/_{10}$ Pf. kaltes Wasser von 0° steigen, so wird er wieder zu Wasser; man erhält nun aber $6^4/_{10}$ Pf. von 100°, indem das Dampfwasser 100 W behält, und der Dampf 540 W an die $5^4/_{10}$ Pf. kaltes Wasser abgegeben. Es werden hiemit 540 W latenter Wärme wieder frei.

Und ähnliche Phänomene ergeben sich bei allen Verdampfungen.

Von den Mitteln, Wärme oder Kälte zu erzeugen.

§. 177. Aus dem Vorigen erhellt, daß ein Körper auf doppelte Weise erwärmt werden kann; indem er entweder von andern freien Wärmestoff erhält, oder indem latente Wärme frei wird. Ebenso müssen sich die verschiedenen Mittel, Wärme zu erzeugen, auf Mittheilung von freier oder Freiwerdung von latenter Wärme zurückführen lassen.

§. 178. Am meisten Wärme wird unstreitig durch das Sonnenlicht erzeugt. Je ungeschwächter und dichter die Sonnenstrahlen auf einen Körper auffallen, desto wärmer wird er. Um so wärmer überdies, je mehr Licht von ihm verschluckt wird. Durchsichtige Körper werden daher wenig, die Luft sehr wenig (vom durchgehenden Lichte) erwärmt; ein schwarzer Körper wird wärmer als ein weißer, so daß an geschwärzten Mauern Früchte eher reifen, und der Schnee unter schwarzen Tuchlappen oder mit schwarzer Erde bedeckt, viel schneller schmilzt.

Immerhin bleibt ungewiß, ob das Licht an sich warm sey oder nicht. Vielleicht ist das Licht aus zweierlei Strahlen, leuchtenden und wärmenden, zusammengesezt, so daß nicht immer die Beleuchtuug proportional seyn mag. Vielleicht aber bringt das Licht überhaupt keine Wärme hervor, und vermag nur den latenten Wärmestoff in freien zu verwandeln. Möglich wäre endlich,

daß das Licht selbst durch seine Verbindung mit der Materie zu Wärme wird, oder als solche erscheint. *)

§. 179. 2) Einige Wärme erhält ferner die äussere Erdrinde wahrscheinlich aus dem Innern der Erde; denn viele Erscheinungen lassen vermuthen, daß der größte Theil der Erdkugel noch eine glühende Masse ist. Je tiefer man in die Erde dringt, desto wärmer zeigt sie sich. Auch werden die vulkanischen Phänomene unter dieser Voraussetzung am begreiflichsten. Empfängt auf diese Weise auch die Erdfläche etwas Wärme, so wäre dies mitgetheilte.

§. 180. 3) Gewöhnlich wenden wir, um Wärme zu erzeugen, das Verbrennen an.

Das Verbrennen eines Körpers besteht darin, daß er sich mit dem Sauerstoff (Oxygen) der Luft verbindet, während sich Licht und Wärme entwickelt. Es geschieht dies, indem der im Sauerstoffgas (und dem Brennstoff) enthaltene latente Wärme- und Lichtstoff frei wird. Es wird daher um so viel mehr Wärme erzeugt, je mehr von diesem Gase zersezt wird.

1 Pf. (reine) Kohle bedarf c[a] 2⅔ Pf. Sauerstoff oder an 30 Cub.′ dieses Gases zum Verbrennen, und also an 144 Cub.′ atmosphärische Luft, da diese dem Volum nach nur 21 % Oxygengas enthält. Und dabei entwickelt sich über 7500 W Wärme, so daß, wenn keine verloren ginge, 1 Pf. reine Kohlen hinreichte, um 75 Pf. Wasser von 0° bis 100° zu erwärmen, oder 12 Pf. Wasser in Dampf zu verwandeln. 7500 W bezeichnet also die absolute Heizkraft der (reinen) Kohle. Nach den Brennstoffen ist sie sehr verschieden.

§. 181. 4) Wärme wird überhaupt aber bei sehr vielen chemischen Verbindungen erzeugt. Es geschieht dies, indem entweder Stoffe dichter werden, — so daß latente Wärme frei

*) Leicht ergibt sich aus der ungleichen Beleuchtung die Verschiedenheit der Tags- und Jahrszeiten, der Climate u. a. Auf hohen Bergen ist es kalt, weil das Licht (obschon ungeschwächter) dünnere Luft weniger erwärmt, hauptsächlich aber, weil die Luft besonders durch die auf der Erde entwickelte Wärme erwärmt wird. Das Meer wird weniger warm als das feste Land, weil das Wasser die Lichtstrahlen durchläßt u. s. w.

wird — oder indem sich die Capazität ändert, denn dann muß dieselbe Menge Wärme, die sie enthalten, eine viel höhere Temperatur hervorbringen.

Schüttet man Wasser auf gebrannten Kalk, so zerfällt dieser zu einem trocknen Pulver. Das Wasser wird hiemit fest; und begreiflich ist daraus schon eine starke Erhitzung.

Mischt man Wasser mit Vitriolöl oder mit starkem Weingeist, so wird die Flüssigkeit sehr heiß, indem zugleich das Volum sich vermindert. Eine bedeutende Wärme entsteht, wenn man Metalle in Säuern auflöst.

Schüttet man Vitriolöl und starke Salpetersäure zu Terpentinöl, so erhizt sich das Gemisch oft so, daß es zu brennen anfängt.

Manche Substanzen erhitzen sich (indem einzelne Bestandtheile aufeinander einwirken) unter gewissen Umständen wie von selbst; so feuchtes Heu, geölte Zeuge, Mehl, Lohe, Pferdemist, schwefelhaltige Steinkohlen u. a. Auf gleiche Weise steigt die Temperatur gährender Flüssigkeiten.

So entsteht beim Athmen und Verdauen durch chemische Veränderung der Luft ꝛc. die thierische Wärme.

§. 182. 5) Wärme wird ferner erzeugt, wenn Körper gerieben, gepreßt, gehämmert werden; beim Bohren, Feilen, Sägen, Schleifen, Drahtziehen, Schmieden ꝛc.

Auch in diesen Fällen entsteht die Erwärmung ohne Zweifel, indem durch die Zusammendrückung der Materie latente Wärme frei wird.

Durch starkes Hämmern kann man ein Stück Eisen bis zum Glühen erhitzen; durch anhaltende Reibung kann Holz in Brand gerathen oder verkohlen. Die Funken beim Feuerschlagen oder Messerschleifen sind ganz kleine Stahltheile, die durch die schnelle und heftige Reibung glühend wurden. Luft sogar kann durch plötzliches Zusammendrücken (z. B. in einem Kolben) so viel Wärme entbinden, daß ein Stückchen Feuerschwamm entzündet wird. Neulich hat man durch die Reibung metallener Scheiben Zimmer zu heizen versucht.

§. 183. 6) Die meisten Substanzen erwärmen wir, indem wir sie mit wärmeren in Berührung bringen, also durch Mittheilung. Gewöhnlich wenden wir die durch das Verbrennen erhizte Luft an. In allen diesen Fällen ist wohl zu berücksichtigen, daß die Luft nur in dem Grade, als sie heißer ist als der zu hitzende Körper, diesem Wärme abgibt. Soll also ein kochender Kessel noch beständig Wärme erhalten, so muß die Feuerluft viel heißer als der Kessel seyn, und darum auch heißer abziehen. Es folgt daraus, daß nie alle Wärme benuzt oder utilisirt werden kann, und daß oft am meisten Hitze utilisirt wird, wenn das Feuer möglichst lebhaft ist, wenn schon dann die Luft viel heißer wegzieht. Denn würde das Feuer so schwach seyn, daß die Luft kaum heißer als der Kessel wäre, so gäbe sie gar keine Wärme an diesen ab.

§. 184. 7) Erkältung hat auf eine dreifache Weise Statt:

a) Indem ein heißer Körper Wärme ausstrahlt, oder bei der Berührung an kältere mittheilt.

b) Indem ein Körper verdunstet, da bei aller Dampfbildung sensible Wärme latent wird.

So wird jede warme Flüssigkeit durch Verdunsten kälter. Ein Zimmer wird kühler, wenn der Boden mit Wasser besprengt wird. Halten wir eine in Wasser getauchte Hand in die Luft, so fühlen wir Kälte, weil das verdunstende Wasser der Hand Wärme entzieht. Noch stärkere Kälte fühlen wir, wenn wir sie mit Weingeist oder Aether befeuchten, da dieser viel schneller verdunstet. Benezt man eine mit Baumwolle umwickelte Thermometerkugel mit Aether, so sinkt der Thermometer weit unter 0, zumal wenn man dagegen bläst, weil die Bewegung der Luft die Verdampfung noch beschleunigt.

c) Kälte wird endlich durch Mischungen erzeugt, welche eine Bindung von Wärmestoff veranlassen.

Löst man gewisse Salze, z. B. Glaubersalz oder Salpeter, in warmem Wasser auf, so sinkt sehr bedeutend die Temperatur, weil das Salz, indem es flüssig wird, freie Wärme absorbirt oder

in gebundene verwandelt. Noch auffallender ist die Kälte, die entsteht, wenn man Schnee mit Kochsalz (oder salzsauren Kalk u. a.) vermengt. Indem sich nämlich das Salz mit dem Schnee verbindet, wird die Masse mehr oder weniger flüssig, und darum Wärme latent. So kann man Schnee auf 20 und mehr Grade unter Null erkälten (so daß Gefäße mit flüssigen Materien in diese Masse eingetaucht schnell gefrieren), und sogar eine künstliche Kälte erzeugen, in der das Quecksilber erstarrt, d. h. eine Kälte von — 30°.

Das Schmelzen.

§. 185. Werden feste Körper durch eine innige Verbindung mit bereits flüssigen flüssig, so sagt man, daß sie sich darin auflösen; werden sie hingegen durch bloße Erhitzung flüssig, so sagt man, daß sie schmelzen.

Die Temperatur, bei der die Körper schmelzen, ist sehr verschieden.

Das erstarrte Quecksilber schmilzt schon bei — 39° C.

Das Eis bei 0°.

Butter bei 31°.

Der Phosphor bei 42° C.

Talg bei 51°.

Der Wallrath bei 56°.

Wachs bei 60°.

Der Schwefel bei 110°.

Zinn bei 220°.

Wismuth bei 240°.

Blei bei 280°. (320?)

Zink bei 370°.

Ein Gemisch von gleichen Theilen Zinn, Blei und Wismuth bei 123°, eines von 3 Zinn, 5 Blei und 8 Wismuth bis 100°, eines von 2 Zinn, 3 Blei und 5 Wismuth schon bei 92° u. s. w. *)

*) Der bestimmte Grade der Schmelzbarkeit begründet oft die eigenthümliche Brauchbarkeit der Substanzen. Wollen wir zwei Metallstücke mit Hülfe eines andern aneinander löthen, so muß dieses,

Gold, Kupfer und Silber bei starker Rothglühhitze, Eisen erst im heftigsten Schmiedefeuer.

Manche Metalle und Steine, die sonst unschmelzbar hießen, lassen sich wenigstens erweichen im Brennpunkte eines starken Brennspiegels oder vermittelst eines sogen. Knallgasgebläses. Vielleicht ist also wohl kein Körper ganz unschmelzbar.

So oft ein Körper schmilzt, wird freie Wärme latent, und wie ein Körper zu schmelzen anfängt, bleibt er daher auf derselben Temperatur, bis die ganze Masse geschmolzen ist.

Erwärmt man 1 Pf. Schnee in einem Gefäße, so daß er allmählig schmilzt, so zeigt das Schneewasser 0° bis aller Schnee geschmolzen ist; denn bis er 75 W aufgenommen, wird alle ihm mitgetheilte Wärme latent. Später erst kann die ferner eindringende Wärme die Temperatur erhöhen.

Manche Substanzen binden beim Schmelzen noch mehr Wärme als das Eis.

1 Pf. Wachs nahe an 100 W. 1 Pf. Zinn an 278 W.

Wird umgekehrt einer flüssigen Substanz, deren Temperatur auf dem Schmelzpunkte steht, noch Wärme entzogen, so fängt sie an zu erstarren; und aus jedem festwerdenden Punkte wird Wärme frei. Sie wird daher ebenso nicht kälter, bis die ganze Masse erstarrt ist.

Von der Dampfbildung und dem Sieden.

§. 186. Jeder weiß, daß das Wasser, und zwar bei jedem Temperaturgrade, verdunstet, und daß sogar Eis und Schnee

---

oder das Loth, viel schmelzbarer seyn. Die Leichtflüssigkeit obiger Metallgemische macht sie sehr geeignet, um etwas in Formen abzugießen, die keine große Hitze vertragen. Ein nützliches Schutzmittel können sie ferner gegen einen gefährlichen Druck eines allzustarken Dampfes abgeben. Denn verstopft man ein in einen Dampfkessel gebohrtes Loch mit einem Zapfen einer Mischung, die bei 120 schmilzt, so wird der Dampf, sowie er diese Temperatur erreicht, ihn schmelzen, und daher eine gewisse Stärke nicht übersteigen können.

verdunstet. Auf gleiche Weise verdunsten fast alle Flüssigkeiten (das Quecksilber etwa ausgenommen), und auch mehrere feste Substanzen.

Die Hitze befördert überhaupt diese Verdunstung, und erreicht sie einen gewissen Grad, so beginnt oft auf einmal eine ungleich raschere Dampfbildung. Alle Flüssigkeiten können in diesen Zustand versezt werden, und wir sagen dann, daß sie *sieden* oder *kochen*. Verwandeln sich in der Hitze feste Stoffe in Dampf, so sagen wir, daß sie sich verflüchtigen oder sublimiren. Wird einer in Dampf verwandelten Substanz Wärme entzogen, so wird sie wieder flüssig oder fest. Mann nennt eine solche doppelte Operation (das Verdampfen und Wiederverdichten des Dampfs) eine *Destillation*, wenn das Produkt flüssig ist, und eine *Sublimation*, wenn es fest ist.

Nimmt eine Substanz die Dampfform an, so wird immer Wärmestoff latent; und umgekehrt wird Wärme frei, so oft Dampf verdichtet wird.

§. 187. Laßt uns näher die *Bildung des Wasserdampfs* und seine Eigenschaften betrachten.

Alles Wasser verdampft in Berührung mit der Luft. Nicht diese bewirkt jedoch die Verdampfung (wie man sonst wohl glaubte), denn auch im leeren Raume hat sie Statt und noch leichter. In einem verschlossenen Raume hört sie aber bald auf, weil der sich bildende Dampf ihn bald erfüllt hat.

Bei jeder Temperatur kann Dampf existiren, allein jedem Grade entspricht Dampf von einer bestimmten Dichtigkeit und Elastizität.

Bei 100° hat er die Elastizität der Atmosphäre (28″ Quecksilberdruck) und eine Dichtigkeit (oder Gewicht) = $^1/_{1700}$ von der des Wassers.

Bei	90° C	ist die Elast.	(und Dichtigkeit)	nur 0,7 von obiger.
„	75°	„	„	0,35
„	40°	„	„	0,08
„	20°	„	„	0,025
„	0°	„	„	0,006

§. 188. In einem geschlossenen Raume von 1 Cub.' z. B. verdampft nur äusserst wenig Wasser, weil sich nur 1 Cub.' Dampf bilden kann, und dieser überaus dünn ist. Je höher indessen die Temperatur ist, desto mehr verdampft, weil der Dampf dichter ist. Es verdampft gleich viel, ob der Raum luftleer ist oder nicht. Ist darin Luft, so nimmt ihre Elastizität um die des Dampfes zu. (Bei 20° also um $^1/_{40}$.) Hat sie aber schon Feuchtigkeit (d. h. Dampf), so kann sich um so weniger neuer Dampf bilden. Hat die Luft die ihrer Wärme entsprechende Menge Dampf, so heißt sie gesättigt.

In einem offenen Gefäße hört die Verdampfung nicht bald auf, denn die das Wasser berührende Luftmasse wird, weil sie wechselt, nicht leicht gesättigt. Die Verdampfung richtet sich indessen nach der Temperatur und Berührungsfläche, und ist noch um so stärker, je trockener die Luft ist, und je mehr sie gewechselt wird.

Darum verdampft 1 Pf. Wasser aus einem Glase viel langsamer, als von einem flachen Teller; weit schneller auf den Boden gegossen, oder aus benetzten Tüchern; und noch schneller, wenn die Luft trockener ist, wenn Winde wehen, oder die Sonne sie bescheint.

§. 189. Der Dampf ist völlig durchsichtig und so auch gesättigte Luft. Wird diese aber kälter, so wird sie trübe oder neblicht; denn in solcher kann nur dünnerer Dampf existiren. Wird z. B. gesättigte Luft von 20° auf 0° erkältet, wo sie nur 4mal dünnern Dampf enthalten kann, so muß $^3/_4$ des Dampfes flüssig werden und sich aussondern oder niederschlagen. Dies geschieht jedoch in so unendlich kleinen Partikelchen, daß sie oft sehr lange in der Luft schwebend bleiben, und so einen sichtbaren Dunst bilden. So entsteht im Großen der Nebel und die Wolken.

Wird solche trübe Luft wärmer, so wird sie wieder hell, indem die Wassertheilchen wieder zu Dampf werden. Man sagt dann gewöhnlich, daß der Dunst sich auflöse.

Immerhin ist zu beachten, daß, so oft 1 Pf. Wasser zu Dampf wird, 540 W latent werden, sowie umgekehrt.

Vom Sieden.

§. 190. Bringt man Wasser in einem Gefäße über Feuer, so wird es zusehends wärmer. Die Oberfläche dampft zwar und immer stärker. Nur wenig Wärme wird dadurch aber weggeführt, und beinahe alle bleibt in dem Wasser und erhöht also die Temperatur. Enthält es Luft, so wird diese abgeschieden und steigt in Bläschen auf. Daher das Summen. Allmählig entstehen Dampfblasen am Boden des Gefäßes, allein sie verdichten sich, sowie sie aufsteigen, so lange das Wasser nicht 100° heiß ist.

Wie dies aber Statt findet, tritt eine andere Erscheinung ein. Da Dampf von 100° die Elastizität der Luft hat, überwindet er den Druck derselben, und erhebt er sich ungehindert; und da das Wasser gleich heiß ist, entzieht es den Dampfblasen keine Wärme. Von nun an dient daher alle in das Gefäße gelangende Wärme ausschließlich zur Bildung von Dampf, und alle am Boden und den Wänden entstehenden Dampfblasen steigen in die Luft. Man sagt dann, daß das Wasser siedet oder kocht; und so lang es kocht, bleibt es gleich heiß. Ein stärkeres Feuer beschleunigt nur die Verdampfung. Bei gleicher Feuerung richtet sich die Menge des Dampfes nicht nach der Oberfläche, sondern nach der Feuerfläche oder der, die zugleich mit dem Wasser und Feuer in Berührung ist, denn um so mehr Wärme gelangt in das Wasser.

Der Dampf, der das Wasser verläßt, hat die Temperatur desselben; 1 Pf. Dampf aber an 640 W, denn 540 W werden gebunden. Um 10 Pf. Wasser von 20° C zu verdampfen, müssen ihm also 800 + 5400 oder 6200 W zugeführt werden.

§. 191. Da das Sieden eintritt, wenn die Elastizität des Dampfes jener der Luft gleich kommt, so muß die Beschaffenheit der leztern Einfluß auf den Siedegrad haben. Nur bei einem Luftdrucke = 28″ (Barometer) ist der Siedepunkt bei 100°, bei 27″ beträgt er kaum 99°.

Auf hohen Bergen siedet das Wasser daher eher; und ebenso unter der Luftpumpe um so eher, je mehr die Luft verdünnt ist. Es bildet sich dann dünnerer Dampf. Doch immer erfordert 1 Pf. Dampf zur Entstehung dieselbe Menge Wärmestoff oder 640 W.

Umgekehrt tritt der Siedepunkt später ein, wenn die Luft dichter ist. Und dasselbe muß Statt finden, wenn Wasser in einem verschlossenen Kessel (mit oder ohne Luft) gekocht wird. Denn je mehr Dampf sich bildet, desto dichter wird er, desto größer der Druck und der Widerstand, und desto heißer muß der Druck werden, um ihn zu überwinden, und daher auch die Flüssigkeit.

Auch hier entspricht einem jeden Dichtigkeits- und Elastizitätsgrade eine bestimmte Temperatur. Dampf, der 2mal mehr drückt als die Luft, oder von zweifacher Elastizität, ist 122° heiß,

von dreifacher	Elastizität	135°	C heiß.
„ vierfacher	„	145°	„
„ fünffacher	„	154°	„ u. s. w.

Die Dichtigkeit wächst nicht vollkommen so stark.

Wiegt 1	Cub. Meter	einfacher	Dampf	0,59 Kil., so
wiegt 1	„	dreifacher	„	1,61 „
und 1	„	fünffacher	„	2,57 „

§. 192. Wird ein Quantum Dampf erwärmt, so dehnt er sich aus, wie jede elastische Flüssigkeit (um $^1/_{213}$ für 1° R) und ist er eingeschlossen, so wächst dagegen seine Spannung. Ist der Dampf aber in Berührung mit Wasser (wie in einem Dampfkessel), so nimmt seine Dichtigkeit zu, so wie er heißer wird, indem sich noch mehr Wasser in Dampf verwandelt. Die Dichtigkeit und Spannung des Dampfes entspricht dann immer seiner Temperatur, und die gleiche muß das Wasser haben. Zeigt also der in den Kessel (Fig. 68) gesenkte Thermometer c 135° C, so muß der Dampf a und das Wasser b diese Temperatur haben, und a dreifacher Dampf seyn. Es muß hiemit auch der Druck auf die innere Kesselfläche der dreifache der Luft seyn, oder c^a 45 Pf. per □″, und derselbe auf die ganze Fläche wirken, da der Dampf auf das Wasser drückt.

Sezt man die Erwärmung fort, so wird die Spannung zulezt leicht so groß werden, daß auch das stärkste Gefäß zerspringen muß. Versieht man es aber mit einer beschwerten Klappe d, so wird die Spannung des Dampfes nur bis zu einem gewissen Grade zunehmen können, weil er sodann die Klappe heben und entweichen kann. Eine solche Klappe heißt daher eine Sicherheitsklappe.

Soll z. B. der Dampf höchstens ein doppelter werden können, so darf man nur die Klappe mit 15 Pf. per □″ belasten.

Wird der Dampf in obigem Kessel erkältet, so verliert so viel Wasser die Dampfform, bis die Dichtigkeit der niedrigern Temperatur entspricht.

Erkältet man ihn also auf 75°, so füllt den Dampfraum ein Dampf, der bloß $1/_3$ atmosph. Druck hat.

§. 193. Läßt man den Dampf durch eine Röhre gehen, die mit einer kalten Flüssigkeit umgeben ist, so wird diese ihm Wärme entziehen; ein Theil des Dampfs wird daher verdichtet werden, aber nie aller, weil auch bei einer sehr niedrigen Temperatur noch ein dünner Dampf existiren kann.

Läßt man den Dampf hingegen in eine Flüssigkeit hineinsteigen, so wird aller Dampf condensirt, indem er seine Wärme an diese Flüssigkeit abgibt. Läßt man also 1 Pf. Wasserdampf in 30 Pf. Wasser von 20° steigen, so erhält man 31 Pf. Wasser, die zusammen 640 W + 600 W enthalten, und deren Temperatur daher $= \frac{1240}{31} = 40^0$ wird.

Es läßt sich hiemit leicht berechnen, wie viel Wärme ein gegebenes Quantum Dampf mittheilen kann.

Sieden anderer Flüssigkeiten.

§. 194. Dieselben Erscheinungen zeigt das Sieden anderer Flüssigkeiten, nur ist die zum Sieden erforderliche Temperatur unter dem nämlichen Luftdrucke verschieden.

Bei Salzauflösungen schon ist der Siedepunkt höher.

Wasser mit	4 %	Kochsalz siedet erst bei	81° R	
„	8 %	„	82 „	
„	12 %	„	83 „	u. s. w.

Ebenso haben Säuern (Salzsäure, Salpetersäure, Schwefelsäure u. a.) einen viel höhern Siedepunkt, und einen um so höhern, je conzentrirter sie sind.

Weingeist hingegen siedet schon bei einer niedrigern Temperatur.

Bringt man eine schwache Salzauflösung zum Kochen, so verdampft fast einzig das Wasser; die Auflösung wird daher immer stärker, und die Flüssigkeit allmählig heißer.

Das Gleiche geschieht bei Säuern, die noch Wasser enthalten.

Bringt man hingegen weingeisthaltende Flüssigkeiten zum Sieden, so verdampft vorzugsweise der Weingeist.

Zehnter Abschnitt.

Vom Lichte (oder von den optischen Phänomenen).

§. 195. Die Aussenwelt wird uns hauptsächlich durch das Sehen bekannt, oder durch die Eindrücke, die auch entfernte Körper auf unsere Gesichtsnerven machen können. Zur Erkenntniß der Natur ist der Gesichtsinn daher der wichtigste. Ob überhaupt dieser Sinn für uns mehr Werth habe, als der Gehörsinn, ist kaum zu entscheiden. Ohne Zweifel ist der Taubgeborne weniger bildungsfähig als der Blindgeborne; der Blindwerdende entbehrt sicherlich aber mehr als der Taubwerdende.

Das Sehen ist nur unter einer gewissen Bedingung möglich. Diese Bedingung ist das Licht. Was das Licht sey, wissen wir nicht genau. Sehr wahrscheinlich ist es eine überaus feine Materie, die von allen sichtbaren Körpern ausströmt und das Sehen bewirkt, wenn sie durch die Pupille (das Sehloch) in unsere Augen dringt, und die aus den feinsten Zweigen des Sehnervs bestehende Netzhaut trifft. Wir dürfen um so mehr das Licht als eine feine Materie betrachten, da sich auf diese Weise alle Lichtphänomene am ungezwungensten erklären lassen. Viele Physiker erklären indessen das Sehen ungefähr so wie das Hören, und nehmen an, daß der sichtbare Körper durch eine eigenthümliche Art von Vibration, die sich durch eine im Weltraume verbreitete Materie, die sie Aether nennen, fortpflanze, auf unser Auge wirke.

Derjenige Theil der Physik, der von den Eigenschaften des Lichts und den davon herrührenden Erscheinungen handelt, heißt Optik oder Photologie.

Von den Körpern, die Licht von sich geben.

§. 196. Strömt ein Körper Licht aus, so daß er sichtbar ist, so heißt er hell; gibt er keines von sich, dunkel. Je mehr Licht eine gleich große Fläche ausstrahlt, desto heller ist sie.

Der Eindruck von Helle, den ein Körper auf das Auge macht, hängt indessen noch von der Reizbarkeit des Sehnervs und der Erweiterung der Pupille ab, und Beides ändert oft. Bei starkem Lichte verengert sich die Pupille und wird der Nerv unempfindlicher. Gehen wir daher plötzlich aus einem sehr hellen Raume in einen fast dunkeln, so sehen wir Anfangs beinahe gar nichts, erkennen später aber ziemlich gut die Gegenstände, weil allmählig die Pupille sich erweitert und der Nerv wieder reizbarer wird.

Ebendaher erscheint uns das Licht des Mondes oder einer Lampe am hellen Tage matt; und das der Sterne oder eines Scheinwürmchens bemerken wir dann gar nicht.

§. 197. Ein Körper kann nicht nur von sich aus, oder eigenes Licht ausströmen, sondern er kann auch hell seyn, indem er fremdes, auffallendes Licht zurückwirft. Im ersten Falle heißt er leuchtend, im zweiten erleuchtet. So können die meisten Körper, obschon sie dunkel sind, sichtbar werden.

Wird ein Körper erleuchtet, so gibt er nicht alles Licht zurück, und auch dieses oft nicht unverändert. Je weniger er zurückwirft, desto dunkler bleibt er. Wirft er keines oder beinahe keines zurück, so zeigt er sich ganz dunkel oder schwarz. Verändert er zugleich das Licht, so erscheint er gefärbt. Die Folge wird zeigen, daß das farblose Licht aus einem Gemische von verschiedenen farbigen Lichttheilen besteht, und daß ein Körper also deßwegen gefärbt erscheint, weil er vorzugsweise nur gewisse farbige Lichttheile zurückgibt.

Eben daraus folgt aber, daß das Licht von den Körpern eingeschluckt werden kann, und in diesem Falle die Eigenschaft zu leuchten verlieren muß. Man kann daher, wie bei der Wärme, freies und gebundenes Licht unterscheiden.

§. 198. Vor allen selbstleuchtenden Körpern zeichnet sich die Sonne aus. Sie ist für die Erde weit die wichtigste Lichtquelle. Wie sie, sind selbstleuchtend zwar alle Fixsterne (und Kometen), wegen ihrer unermeßlichen Entfernung gelangt aber von ihnen nur sehr wenig Licht auf die Erde. Der Mond und die Planeten sind hingegen dunkle Körper, so wie die Erde, und werden, wie sie, durch die Sonne beleuchtet. Die Natur der Sonne kennen wir nicht zuverläßig; wahrscheinlich ist sie ein an sich dunkler und nur mit einer leuchtenden Hülle umgebener Körper. Sie ist eine Kugel, deren Durchmesser wenigstens 110mal größer als der der Erde ist.

Alle der Erde angehörenden Körper sind an sich dunkel. Viele können aber unter gewissen Umständen leuchtend werden, indem aus ihnen dann gebundene oder latente Lichtmaterie frei wird. Ein schwaches Leuchten pflegt man Phosphoresziren zu nennen.

§. 199. Eine solche Lichtentwickelung hat Statt:

1) Bei manchen chemischen Veränderungen und namentlich beim Verbrennungsprozesse. Wenn Materien sich oxydiren, so wird oft zugleich Wärme oder auch Licht frei. In diesem Falle nennen wir diesen Oxydationsprozeß ein Verbrennen. So leuchtet ein glühendes Metall oder eine glühende Kohle, während sie an der Luft sich in Oxyde verwandeln. Bringt die Hitze zugleich eine Verflüchtigung brennbarer Theile, wie namentlich von kohligen oder Wasserstofftheilen, hervor, und verbrennen diese erst sowie sie aufsteigen und mit der Luft in Berührung kommen, so entsteht eine leuchtende Flamme.

Einer der merkwürdigsten brennbaren Körper ist der Phosphor, eine gewöhnlich aus Knochen bereitete Substanz. Bei mäßiger Erhitzung brennt er schon mit Flamme, und im Sauerstoffgase

mit blendendem Lichte. Allein auch in der Kälte und in Luftarten, die nur sehr wenig Sauerstoff enthalten, entwickelt er ein im Dunklen sehr vernehmbares Licht, wenn gleich keine spürbare Wärme. Dieses Leuchten ist immerhin ein ganz langsames Verbrennen, da der Phosphor sich allmählig säuert.

Häufig wird das Verbrennen vorgenommen, um Licht zu erzeugen; wir werden daher später darauf zurückkommen.

§. 200. 2) Bei starker Erhitzung. Glas kann durch starke Erhitzung glühend werden; es leuchtet dann, ohne daß eine chemische Veränderung Statt findet. Die bloße Erhitzung bewirkt eine Entbindung von Licht. Auf dieselbe Weise werden viele Metalle glühend. Eisen fängt bei etwa 340° C an, im Dunkeln zu leuchten; bei größerer leuchtet es am Tageslicht und zwar roth; bei noch größerer weiß.

Mit blendendem Glanze leuchtet Kalk, wenn er mittelst einer durch Sauerstoffgas angefachten Weingeistflamme erhizt wird.

Legt man kleine Stückchen Flußspath (Apatit oder a.) auf eine heiße eiserne Platte, so werden sie leuchtend. Dieses Phosphoresziren zeigen in minderem Grade eine Menge Steine u. a. Substanzen. Um einen so schwachen Schein wahrnehmen zu können, muß man aber in einem ganz dunklen Raume die Versuche anstellen.

§. 201. 3) Bei starkem Druck. Zerschlägt man harten Zucker an einem finstern Orte, so nimmt man deutlich eine Entwicklung von Licht oder ein Phosphoresziren wahr. Dasselbe geschieht oft, wenn man Steine aneinander schlägt. Selbst wenn Luft oder Wasser mit Heftigkeit zusammengedrückt wird, zeigt sich bisweilen ein Lichtschein. Einige Steine phosphoresziren, wenn man sie rizt, wie Dolomit, Steinmark u. a. Manche Körper, wenn man sie an einen schnell umlaufenden Schleifstein hält. Oft ist die Lichtentwicklung eine Folge der Erhitzung. Beim Feuerschlagen z. B. sind die Funken glühende Stahlpartikel, die durch den scharfen Feuerstein abgerieben, und durch die Reibung glühend werden. In Bergwerken wo brennbare Luftarten oft die Anwendung gewöhnlicher Lampen gefährlich machen, bedient

man sich bisweilen eines ähnlichen Reibapparats, um sich zu beleuchten.

4) Bei elektrischen Wirkungen. Das Ausströmen der elektrischen Materie bringt häufig ein Leuchten hervor, obschon sie wahrscheinlich an sich nicht leuchtend ist. Der Blitz ist nichts als ein großer elektrischer Funken. Auch die merkwürdige Helle, die man das Nordlicht nennt, scheint eine hauptsächlich durch die Elektrizität der Erde erregte Lichtentwicklung zu seyn.

§. 202. 5) In Folge früherer Lichteinsaugung. Vor etwa 200 Jahren machte man die Entdeckung, daß, wenn zerpulverter Schwerspath mit Gummi zu einem Teige angerührt und darauf eine oder zwei Stunden lang ausgeglüht wird, diese Masse die Eigenschaft hat, eine Zeitlang im Dunkeln zu phosphoreszieren, so oft sie vorher dem Sonnenlichte ausgesezt worden ist. Später hat man gefunden, daß viele Substanzen (die meisten Edelsteine, viele erdige Salze u. a.) dieselbe Eigenschaft in geringem Grade wenigstens besitzen, oder daß sie, so oft sie einige Minuten lang vom Sonnenlichte bestrahlt worden und sofort in einen ganz finstern Ort gebracht werden, mehr oder weniger lang einiges Licht von sich geben. Auch um diese delikaten Versuche anzustellen, muß man aber eine geeignete Einrichtung treffen, um, ohne den finstern Ort zu verlassen, die Substanzen abwechselnd beleuchten und im Finstern betrachten zu können, da das Auge möglichst reizbar bleiben muß. Substanzen, die sehr entschieden diese Eigenschaft zeigen, nannte man Lichtsauger oder Lichtmagnete; und in der That ergibt sich diese Phosphoreszenz ohne Zweifel dadurch, daß der bestrahlte Körper später erst einen Theil des eingesogenen Lichtes entweichen läßt.

§. 203. 6) Oefters hat endlich eine spontane Lichtentwickelung oder ohne äussere Einwirkung Statt. So leuchtet zuweilen feuchtes Holz, besonders Wurzelholz von Weiden und Tannen, das zu faulen anfängt. Ebenso verbreiten oft Seefische, bald nach ihrem Tode, einen ziemlich hellen Schein. Das Leuchten einiger lebendigen Fische (z. B. des Klumpfisches) ist vielleicht

ein elektrisches. Zu den spontanen Lichterzeugungen muß man aber ohne Zweifel das Leuchten mancher Insekten (wie der Scheinwürmchen) und vieler Gewürme rechnen. Das Leuchten des Meeres, das häufig besonders in heißen Gegenden wahrgenommen wird, rührt gewöhnlich von einer unermeßlichen Menge ganz kleiner leuchtender Seegeschöpfe her; viele wollen das Licht der Scheinkäfer u. a. Thiere einer phosphorartigen Materie zuschreiben, zumal weil die leuchtende Masse oft getrennt werden kann, allein chemisch ist das Daseyn von Phosphor nicht nachgewiesen.

Verbreitung und Fortpflanzung des Lichts.

§. 204. Ein Körper, der Licht ausstrahlt, ist von allen Seiten sichtbar; nach allen Seiten muß sich also das Licht verbreiten. Er ist ferner sichtbar, obgleich die Luft ihn von unserm Auge trennt. Die Luft läßt also, wie der leere Raum, das Licht durchstrahlen. Dasselbe gestatten viele feste und flüssige Körper. Alle solche heißen durchsichtig. Körper, die das Licht nicht durchlassen, heißen undurchsichtig; und durchscheinend, wenn das Licht beim Durchgange bedeutend geschwächt wird.

Keine Materie, und selbst die Luft, ist vollkommen durchsichtig. Auf Bergen strahlen Sonne und Sterne heller als in der Tiefe, nicht weil die Luft reiner ist, sondern weil das Licht weniger Luftschichten durchpassiren muß, und die Luft immer etwas Licht absorbirt. Noch weniger sind Dünste oder neblige Luft ganz durchsichtig. Nebel und Wolken hindern oft fast ganz den Durchgang des Sonnenlichtes. Steht die Sonne nahe am Horizonte, wie bei a (Fig. 69), so müssen die Strahlen weit mehr und eine dickere und dunstreichere Luft passiren, bis sie in unser Auge bei c gelangen, als wenn sie höher oder bei b steht. Am Horizonte ist daher ihr Glanz ungleich matter. Durch das hellste Glas kann man nichts sehen, wenn es sehr dick ist; eben so wenig dringt das Licht bis auf den Boden eines sehr tiefen Wassers.

Umgekehrt lassen die undurchsichtigsten Körper, wenn sie sehr dünn sind, oft etwas Licht durch. Viele Steine sind an den Kanten wenigstens durchscheinend. Ebenso lassen die dünnen Gold- und Kupferblättchen etwas Licht durch.

Durchsichtige Substanzen werden nicht nur undurchsichtig, wenn sie dergleichen Theile enthalten oder trübe sind, sondern oft auch, wenn sie mit andern, obgleich durchsichtigen Materien gemengt sind. So wird Wasser und Oel durch Zusammenschütteln trübe; ebenso das Glas, wenn man es zerstößt. Durch Anfeuchten wird es wieder durchsichtiger, weil nun eine gleichartigere Materie, nämlich Wasser statt Luft, die Zwischenräume ausfüllt. Auf gleiche Weise wird Papier durch Wasser oder Oel durchsichtiger.

Einen großen Einfluß hat das Gefüge auf die Durchsichtigkeit. Salzkrystalle oder Candiszucker sind durchsichtig; körnig krystallisirter Zucker ist es nicht. Das Glas wird durch sehr langsames Abkühlen undurchsichtig, und das Gefüge faserig. Aus einer ähnlichen Ursache ist wohl der reinste Quarz undurchsichtig, während der Bergkrystall durchsichtig ist.

§. 205. Die Fortpflanzung des Lichts geschieht mit ausserordentlicher Geschwindigkeit. In demselben Augenblicke, wo ein Geschütz abgebrannt wird, erblickt man das Feuer, so weit es zu sehen ist. Astronomische Beobachtungen zeigen jedoch, daß die Fortpflanzung nicht wirklich eine ganz instantane ist, sondern daß das Licht in einer Sekunde etwa 42,000 Meilen zurücklegt. *) Vom Monde zur Erde braucht es hiemit wenig über eine Sekunde Zeit, von der Sonne aber, die an 20 Millionen Meilen von uns entfernt ist, etwa 8¼ Minute. Daraus folgt, daß, wenn wir die Sonne auf- oder untergehen sehen, sie in der That schon 8¼ Minute über oder unter unsern Horizont gekommen ist. Die Wirkungen sind natürlich aber ganz dieselben,

*) Die Geschwindigkeit des Lichts ist also 1 Millionmal größer als die des Schalls.

als wenn kein Zeitverlust Statt hätte, und daher kommt derselbe nicht in Betracht.

§. 206. Ungleich wichtiger ist der Umstand, daß das Licht in gerader Richtung fortgeht, und daß hiemit das ausströmende Licht als aus lauter geraden Lichtlinien oder Lichtstrahlen bestehend betrachtet werden kann.

Es folgt daraus, 1) daß die aus jedem leuchtenden Punkte a ausgehenden Strahlen bb (Fig. 70) auseinander laufen oder divergiren, und daß die, welche auf eine Fläche cd fallen, eine Lichtpyramide bilden, deren Spitze in a ist.

2) Daß je weiter cd von a absteht, desto weniger Lichtstrahlen auf eine gleich große Fläche fallen, und daß die Beleuchtung im quadratischen Verhältniß der Entfernung abnehmen, oder bei 2mal größerem 4, bei 3mal größerem Abstand 9mal schwächer seyn muß u. s. w.

3) Daß, wenn die Fläche wie ed eine geneigte Lage hat, die Beleuchtung ebenfalls abnimmt.

4) Daß die Strahlen, die von einem sehr weit entfernten Körper auf eine Fläche fallen, und insbesondere also die Sonnenstrahlen, als unter sich völlig parallel zu betrachten sind.

Vieles erklärt sich schon aus diesen Folgerungen. Man sieht, wie schnell die Erleuchtung abnimmt, wenn wir uns von einem brennenden Lichte entfernen, und wie ungleich sie bei demselben Abstande seyn muß, je nachdem das Licht senkrecht oder schief auffällt. Daß ein Licht, das bei doppeltem Abstande eine Fläche eben so gut erleuchtet als ein anders, 4mal heller seyn muß. Man sieht, daß kein Ort auf der Erde darum heller ist, weil er der Sonne merklich näher liegt, daß aber seine Stellung gar sehr die Erleuchtung (und hiemit auch die Erwärmung) verändern kann. Das Sonnenlicht fällt bei uns auch am Mittag auf eine horizontale Fläche nie senkrecht auf; wohl aber auf gegen Süden geneigte Hügel oder Dächer, und eine gleich große Fläche erhält dann weit mehr Lichtstrahlen.

§. 207. Aus der geradlinigten Fortpflanzung folgt ferner, daß kein Körper gesehen werden kann, wenn die gerade Linie bis

zu unserm Auge von einem undurchsichtigen Körper unterbrochen wird; und daß, wenn ein leuchtender Körper Licht auf einen undurchsichtigen wirft, hinter diesem ein lichtleerer Raum oder **Schatten** entsteht. Fällt der Schatten auf andere Flächen (die jenen Raum durchschneiden), so ergibt sich darauf ein Flächenschatten, dessen Begrenzung durch die des schattenwerfenden Körpers bestimmt wird und sich mit Hülfe von Linien, die vom leuchtenden Körper nach dem Rande des schattengebenden gezogen werden, finden läßt. Die Kunst, die sich ergebenden Schatten für alle Fälle richtig zu entwerfen, ist ein wichtiger Theil der höhern Zeichnungskunst.

Ist ab (Fig. 71) ein auf der Fläche cd senkrecht stehender Stock, np eine Lichtflamme, so wird von b bis x gar kein Licht von np fallen, von x bis y hingegen Licht von einigen Punkten der Flamme, und jenseits y erst der Schatten ganz aufhören. Der vollkommene Schatten von b bis x heißt **Kernschatten**, und der stufenweise heller werdende x bis y **Halbschatten**. — Auch der Kernschatten ist aber fast nie ganz dunkel oder schwarz, weil in denselben immer von andern Seiten noch Lichtstrahlen fallen.

§. 208. Fällt das Licht von zwei leuchtenden Körpern a und b (Fig. 72) auf einen undurchsichtigen c, so wirft er zwei Schatten n und p, die sich in o decken und hier also am dunkelsten sind. Ausserhalb o ist der Schatten n durch a, und p durch b beleuchtet und darum heller. Ist n heller als p, so muß die Beleuchtung von a größer seyn, als die von b, und umgekehrt. — Solche Versuche können dienen, um die verhältnißmäßige Helle zweier Lichter zu messen, eine Abschätzung, die unmittelbar sehr schwierig ist. Gesezt nämlich, a sey die Flamme einer Argand'schen Lampe, und b die eines Talglichts, so werden beide Schatten n und p nur dann gleich grau seyn, wenn a von n weiter entfernt ist, als b von p. Mit der Entfernung nimmt die Erleuchtung aber im quadratischen Verhältnisse ab. Sind also n und p gleich grau (was leicht zu bemerken ist), wenn z. B. a 16″ und b 6″ entfernt ist, so muß die Helle von a zu der von

b seyn, wie $16^2 : 6^2$ oder wie 256 : 36 sich verhalten, oder etwa 7mal so groß seyn. Dergleichen Versuche heißen photometrische, und können von vielem Nutzen seyn.

Da in der Regel endlich ein Körper nur dann sichtbar ist, wenn von demselben in gerader Linie Licht in unser Auge kommen kann, so sehen wir umgekehrt, so oft Lichtstrahlen in unser Auge gelangen, stets einen hellen Gegenstand in der Richtung, in der diese zu uns kommen.

Brechung des Lichts.

§. 209. Die Erfahrung lehrt, daß, so oft ein Lichtstrahl aus einem durchsichtigen Körper (Mittel) in einen andern von verschiedener Dichtigkeit in schiefer Richtung übergeht, seine Richtung etwas verändert wird. Diese Ablenkung heißt die Brechung oder Refraktion des Lichts, und der davon handelnde Theil der Optik, Dioptrik.

Geht z. B. ein Strahl ab (Fig. 73) aus der Luft in Glas über, so geht er nicht in der geraden Richtung bc fort, sondern er wird beim Eintritt oder bei b gebrochen, und zwar der senkrechten pq genähert. Er geht z. B. nach d. Umgekehrt wird er hier von Neuem von der senkrechten xy abgebrochen, wenn er hier wieder in die Luft übergeht. Er geht von d nicht nach o, sondern nach f.

Bei jedem Uebergang in ein anderes Mittel wird der Lichtstrahl nach einem bestimmten Verhältniß gebrochen, und in der Regel um so mehr, je verschiedener die Dichtigkeit ist.

Zwischen der Luft und dem Glase ist das Brechungsverhältniß = $^2/_3$. Zwischen der Luft und dem Wasser etwa $^3/_4$. D. h. der Sinus des Winkels in der Luft verhält sich zum Sinus des Winkels im Wasser wie 4 : 3.

§. 210. Die Brechung erklärt unzählige Phänomene (Fig. 74): Ist ab die Wand eines Gefäßes und undurchsichtig, und bei x ein Licht, so wirft die Wand einen Schatten, der, ist das Gefäß leer, bis c reicht. Füllt man es aber mit Wasser, so wird der

Schatten bis d verkürzt, weil der Strahl xa bei a zugebrochen wird.

Schlagen wir bei d einen Nagel ein, so wird ein in x befindliches Auge denselben nicht sehen können, wenn das Gefäß leer ist, weil der äusserste Strahl da nach y geht. Füllen wir es aber mit Wasser, so wird der Nagel sichtbar, weil jener Strahl bei a abgebrochen wird, und nun in das Auge bei x gelangt.

Wir sehen ihn ferner in der Richtung ac und daher höher oder bei d'; und wie dieser Punkt des Bodens erscheint uns der ganze Boden höher liegend.

Halten wir einen Stock nop schief in's Wasser, so erscheint er eben daher gebrochen, wie noq; denn wie wir p in q sehen, so erblicken wir jeden Theil des Stocks an einem höhern Orte.

Der Grund eines Wassers kommt uns daher weniger tief vor als er ist; stehen unsere Füße im Wasser, so erscheinen sie verkürzt u. s. w.

Auch die Lichtstrahlen, die von den Himmelskörpern zu uns gelangen, müssen, wenn sie allmählig in die Luft kommen, etwas zugebrochen werden, und jene Körper daher etwas höher erscheinen, als sie wirklich sind.

Betrachten wir einen Körper durch eine Glastafel, so wird die Richtung der Lichtstrahlen wenig geändert; die Strahlen bleiben parallel.

Anders verhält es sich, wenn die hintere und vordere Seite des Glases nicht parallel sind. Betrachtet z. B. das Auge o einen Gegenstand p durch den untern Theil des Glasprismas (Fig. 75), so sieht es ihn wegen der Brechung tiefer in q. — Betrachtet das Auge n hingegen das Objekt x durch die obere Hälfte, so sieht es ihn höher in y.

Können wir denselben Gegenstand durch mehrere ähnliche schiefe Flächen eines Glases zugleich sehen, so sehen wir ihn vielfach.

§. 211. Besonders merkwürdig sind die Wirkungen der Brechung in sogenannten Linsengläsern, oder in Gläsern,

die auf einer oder beiden Seiten nach einer Kugelfläche geschliffen sind.

A (Fig. 76) ist der Durchschnitt einer Biconvexlinse.

B der einer Planconvexlinse.

C der einer Biconcavlinse, und

D der einer Planconcavlinse.

Alle Convexlinsen haben folgende Eigenschaften:

1) Fallen parallele Lichtstrahlen a, wie die Sonnenstrahlen, (Fig. 77) auf die Linse C, so werden sie durch die Linse so gebrochen, daß sie alle einander beinahe in Einem Punkte der Axe f durchschneiden. Diesen Punkt nennt man Focus oder Brennpunkt, und seinen Abstand von der Mitte der Linse die Brennweite. Sind beide Seiten der Linse nach derselben Kugelform geschliffen, so ist die Brennweite dem Radius dieser Kugel gleich.

2) Da alle Strahlen bei f in einem sehr kleinen Raume zusammenkommen, so muß an demselben ihre leuchtende, sowie ihre wärmende Kraft ausnehmend verstärkt seyn. Ist jener Brennraum 100mal kleiner als die äussere Fläche der Linse, so müßte, ginge alles Licht durch, die Helle und Hitze darin auf das 100fache verstärkt oder konzentrit seyn. Daher heißen solche Linsen auch Brenngläser. Mit kleinen Linsen kann man leicht Zunder oder dergl. anzünden, mit sehr großen die strengflüssigsten Metalle schmelzen.

Diese Linsen können aber nicht bloß zum Brennen, sondern auch zur stärkern Beleuchtung dienen. Zuweilen wendet man zu diesem Behufe auch dichte oder mit Wasser gefüllte Glaskugeln an. Dieselbe Wirkung haben ferner zwei Uhrgläser, die man mit Wasser oder einer andern durchsichtigen Flüssigkeit füllt.

§. 212. 3) Bringt man umgekehrt ein brennendes Licht in den Focus einer Linse, so erhalten die durchgehenden Strahlen eine mehr oder weniger parallele Richtung. Sie hindert also das Auseinanderlaufen oder Divergiren der Strahlen, und diese pflanzen sich daher fast ungeschwächt fort.

Man hat in neuester Zeit diese Eigenschaft bei Leuchtthürmen benuzt. Umgibt man eine recht hell brennende Lampe mit Linsen, so kann ihr Licht auf 12 und mehr Stunden weit sichtbar werden. Den Linsen wird durch ein Uhrwerk eine rotirende Bewegung ertheilt, damit das Licht an vielen Orten sichtbar werde.

4) Stellt man das Licht zwischen den Focus und die Linse, so bleiben die Strahlen zwar noch divergirend, sie sind es aber in schwächerm Grade. Stellt man es endlich hinter den Focus, so kommen die Strahlen auch auf der Rückseite hinter dem Focus zusammen.

Aus dieser Eigenschaft erklären sich die Bilder, welche Linsen geben.

Ist A (Fig. 78) eine Linse, ff die beiden Brennpunkte, und abc eine Lichtflamme, so kommen die Strahlen von a irgendwo in a′, die von b in b′ und die von c in c′ zusammen; und läßt man sie da auf eine Fläche nn fallen, so ergibt sich darauf ein deutliches, aber verkehrtes Bild, weil alle Strahlen aus einem Punkte der Flamme genau auf einen besondern Punkt der Fläche fallen. Je näher abc bei f steht, desto weiter liegt das Bild und desto größer wird es. Stellt man nn nicht dahin, wo gerade alle Strahlen zusammenlaufen, so erhält man wohl ein Bild, aber ein undeutliches.

Diese Wirkung benuzt man zu allerlei physikalischen Vorrichtungen. Auf dieselbe gründet sich das Sonnenmikroscop, die Zauberlaterne, die Camera obscura u. a. m., von denen später die Rede seyn wird. Aus ihr erklärt sich ferner die Einrichtung des Auges selbst, und der Gebrauch der Linsen als Vergrößerungsgläser.

§. 213. Alle concaven Gläser haben, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man den Brechungsregeln nach die Ablenkung der durchgehenden Strahlen zu zeichnen versucht, gerade die entgegengesezten Wirkungen der converen. Wie diese auch Sammlungsgläser heißen, so nennt man jene Zerstreuungsgläser.

Parallel auffallende Strahlen werden nicht nur nicht convergirend, sondern divergirend. (Fig. 79.)

Wird das Licht durch andere, unregelmäßig gestaltete Körper gebrochen, so bilden die zusammengeführten und sich durchschneidenden Lichtstrahlen oft allerlei mehr oder weniger helle Linien oder Streifen, die man Brennlinien nennt, und deren Form von der Gestalt des brechenden Körpers abhängt. Man kann leicht solche Lichtstreifen ꝛc. sehen, wenn man das Licht z. B. durch eine Wasserflasche gehen läßt. *) Die Brechung des Lichts veranlaßt übrigens unzählige Erscheinungen, die der aufmerksame Beobachter oft ohne Mühe enträthseln wird. **)

Zurückwerfung des Lichts.

§. 214. Kein Körper ist sichtbar, wenn nicht von demselben Lichtstrahlen ausgehen, und wir sehen nie die Lichtstrahlen, sondern bloß den Körper, von dem sie ausgehen. Sehen wir also einen Körper, der kein eignes Licht ausstrahlt, sondern beleuchtet ist, so muß wenigstens ein Theil des auffallenden fremden Lichtes zurückgestrahlt oder zurückgeworfen werden. Diese Zurückwerfung heißt auch Reflexion; und die Lehre, die diese Erscheinungen untersucht, die Katoptrik.

Würde ein undurchsichtiger Körper alles auffallende Licht verschlucken, so sähen wir ihn nicht, sondern an seiner Stelle zeigte sich nur ein ganz lichtloser Raum. Und ebensowenig sähen wir einen durchsichtigen, wenn er alles Licht durchgehen ließe. Auch der schwärzeste Körper, sowie das durchsichtigste Glas muß daher, wenn wir sie sehen, etwas Licht zurückwerfen, und würde

---

*) Die bald kleinern, bald größern Schatten, die z. B. ein kleiner Körper wirft, der im Sonnenlichte auf Wasser schwimmt, und die Lichtscheine, die sich darum oft zeigen, wird man leicht erklären, wenn man beachtet, ob das Wasser an dem Körperchen adhärirt oder nicht, und also verschiedene Krümmungen bildet.

**) Eines der wunderbarsten Phänomene ist das der doppelten Strahlenbrechung, die namentlich der sogen. Doppelspath zeigt, und dessen Erklärung allerdings schwierig ist.

die Luft keines zurückwerfen, so erschiene uns am Tage der Himmel nicht hell, sondern ganz schwarz. Der Himmel zeigt sich hell und blau, weil auch die Luft, wenn sie von der Sonne erleuchtet wird, Licht und zwar blaues zurückwirft. Auf hohen Bergen erscheint er schon viel dunkelblauer. *)

§. 215. Das zurückgeworfene Licht kann jedoch eine merkwürdige Täuschung hervorbringen. Die Lichtstrahlen werden nämlich, wie beim Anstoßen elastischer Körper, so reflektirt, daß der Abprallungswinkel dem Einfallswinkel gleich ist. Ist nun ein Körper mehr oder weniger rauh, so werden die Lichttheilchen, da sie so überaus fein sind, dennoch nach allen Seiten zerstreut. Ist er aber sehr glatt, so werden die meisten Lichtstrahlen, die z. B. von dem leuchtenden Punkte a (Fig. 80) auf b fallen, regelmäßig nach c zurückgeworfen, und ein Auge in c erhält dadurch den Eindruck, den ein in f hinter der Fläche b befindlicher Leuchtpunkt hervorbrächte. Es glaubt daher auch denselben von diesem zu erhalten. Wir nennen diesen Punkt f das **Bild** des Wirklichen, und Flächen, die also das Licht reflektiren, **spiegelnde** oder **Spiegel**.

Würde ein Spiegel alle Strahlen auf diese Weise reflektiren, so sähen wir ihn selbst nicht. Ein Körper spiegelt um so besser, je glätter er ist und je mehr Strahlen er zurückwirft. Vorzüglich haben blank geschliffene Metalle und das blanke an einer Glastafel haftende Zinnamalgam diese Eigenschaft. Allein auch glatte Flächen von Glas, Wasser u. a. geben Bilder, weil diese Substanzen, besonders wenn das Licht schief auffällt, einen beträchtlichen Theil reflektiren. Es versteht sich von selbst, daß ein Spiegel nicht nur von leuchtenden, sondern auch von erleuchteten Punkten und Körpern Bilder gibt.

---

*) Fällt das Sonnenlicht durch eine kleine Oeffnung in ein sonst dunkles Zimmer, so sehen wir einen hellen geraden Lichtstreifen. Auch in diesem Falle sehen wir aber nicht die Sonnenstrahlen selbst, sondern die unzähligen feinen Staubtheilchen, die in der Luft schweben und von der Sonne in jener Richtung beleuchtet werden, und das Licht zurückwerfen.

Aus dem obigen Reflexionsgesetze läßt sich durch Zeichnung schon leicht finden, daß das **Bild** gerade so weit hinter dem Spiegel gesehen wird, als der Gegenstand vor demselben befindlich ist (und aufrecht und von gleicher Größe), wenn nämlich der Spiegel eine **ebene** Fläche ist.

Gesezt also sp sey ein Spiegel (Fig. 81) und ab das Objekt, so wird das Bild in xy seyn. Man findet die Stelle, wenn man ps bis z verlängert, und darauf Senkrechte von a bis x, und von b bis y zieht.

Ob ein Auge das Bild im Spiegel aber sehe, hängt von seiner Stellung ab. Ist das Auge in o, so sieht es das Bild, weil xy in das Gesichtsfeld cod fällt. Ist es hingegen in r, so sieht es das Bild nicht, weil sein Gesichtsfeld nun frg ist. *)

Man wird hieraus auch leicht finden, warum das Bild hinter einem schiefstehenden Spiegel eine andere Lage hat, als das davor stehende Objekt; warum man sich in keinem Spiegel ganz sehen kann, wenn er nicht wenigstens halb so ist, als unser Körper; warum man ein um so größeres Feld übersieht, je näher unser Auge dem Spiegel ist u. a. m.

§. 216. Auch Glas- und Wasserflächen geben Bilder, meist aber schwache, weil sie nur einen kleinen Theil des auffallenden Lichts reflektiren. In einer Fensterscheibe bemerken wir die Bilder hauptsächlich deßwegen kaum, weil der Eindruck des zugleich durchgehenden Lichts von aussen zu stark ist. Sehr deutlich sehen wir sie daher, wenn wir die Laden zuschließen, oder wenn es aussen dunkel ist. In mehreren hintereinander stehenden Scheiben entstehen mehrere Bilder. Zum Seltnern bringt sogar die **Luft** eine Art **Spiegelung** hervor. Man sieht nämlich bisweilen die Sonne oder den Mond beim Aufgehen doppelt, oder auf dem Meere oder großen Sandebenen sehr entfernte Gegenstände in der Luft sich abbilden. Diese merkwürdigen Phänomene scheinen daher zu kommen, daß in seltenen Fällen die unterste

---

*) Solche schiefe Spiegel wendet man bei dem bekannten Perspektivkasten, dem Operngucker u. a. m.

Luftschicht durch Erwärmung merklich dünner werden kann, als die darauf liegende, und daß dann Lichtstrahlen von dieser zurückgeworfen werden und Bilder erscheinen lassen.

§. 217. Befindet sich ein Objekt a (Fig. 82) zwischen den zwei schief gegen einander gestellten Spiegeln x und y, so zeigt sich nicht nur ein Bild b und c in jedem Spiegel, sondern die reflektirten Strahlen oder diese ersten Bilder erzeugen neue Bilder e und f, und diese von einem andern g.

Je spitzer der Winkel xzy ist, desto mehr Bilder entstehen; beträgt er $1/_6$ des Umkreises, so gibt es fünf Bilder, beträgt er $1/_8$, so gibt es sieben Bilder u. s. w., die freilich immer matter werden.

Die Wirkung des Winkelspiegels hat man neulich zu einer artigen Vorrichtung, dem Kaleidoscope, benuzt. Es gründet sich darauf, daß eine auch verworrene Zeichnung, wenn sie repetirt wird und die Repetitionen symmetrisch verbunden werden (wie der Winkelspiegel thut), einen wohlgefälligen Effekt macht.

Stehen Lichter u. a. Objekte zwischen zwei parallelen Spiegeln, so erblickt man darin eine Reihe von Bildern und solche Spiegelzimmer machen einen überraschenden Effekt.

Da nicht nur die blanke Belegung eines Glasspiegels, sondern auch die vordere Glasfläche Strahlen zurückwirft, so entstehen wirklich zwei Bilder. Gewöhnlich achtet man zwar das vordere (des Glases) nicht, weil es ungleich schwächer ist. Fällt das Licht aber sehr schief auf, so sieht man die beiden Bilder sehr deutlich, ja man sieht ihrer dann meist mehrere, was daher kommt, daß die Strahlen auch von der andern Fläche nach Innen reflektirt werden. Zu astronomischen Beobachtungen zieht man deßhalb Metallspiegel vor, um alle Vervielfachung der Bilder zu verhüten.

§. 218. Sehr mannichfaltige Wirkungen zeigt die Reflexion bei gekrümmten Spiegeln. Sieht man z. B. in einer gewissen Distanz in einen sphärischen Hohlspiegel, so erblickt man ein Bild, das viel größer ist; umgekehrt gibt ein erhabener ein ganz kleines. Sind die Flächen nicht sphärisch gekrümmt, so geben sie

allerlei verzerrte Bilder. Dergleichen sieht man an einem polirten Cylinder, einem blanken Löffel, in silbernen Gefäßen u. dgl.*) In gewissen Entfernungen gibt ein Licht, vor einen Hohlspiegel gestellt, ein in der Luft schwebendes Bild.

Oft dienen Spiegel nicht sowohl um Bilder zu erhalten, als aber um den Lichtstrahlen eine andere Richtung zu geben.

Die Gesetze der Reflexion kann man leicht untersuchen, wenn man das Sonnenlicht durch eine kleine Oeffnung eines Ladens auf einen Spiegel fallen läßt, oder bei Nacht, wenn man eine helle Lampe mit einem Blechcylinder umgibt, in dem ebenso ein kleines Loch angebracht ist.

Jedermann weiß, wie man mit Spiegeln das Licht nach entfernten dunkeln Stellen werfen kann, und unzählige Male bemerken wir ähnliche Reflexe, die überhaupt erhellte Flächen bewirken. Daß ein geweißtes Zimmer bei Licht viel heller als eines mit dunkler Tapete ist, rührt offenbar daher, daß weiße Wände weit mehr Licht zurückwerfen. Jeder weiß, wie man Lampen mit reflektirenden Schirmen versehen kann, um den Ort, wo wir schreiben oder lesen, mehr zu erhellen.

§. 219. Fallen parallele Strahlen aa, wie die Sonnenstrahlen, auf einen sphärischen Hohlspiegel b (Fig. 83), so werden sie so zurückgeworfen, daß sie sich alle an einer Stelle f durchschneiden, und auch hier ein **Brennpunkt** entsteht. Solche Spiegel wirken also wie die Linsengläser, und heißen deßhalb **Brennspiegel**. Stellt man umgekehrt ein Licht in f, so werden die auffallenden Strahlen nach dem Zurückwerfen parallel, und gehen so auf unbestimmte Weise fort. Solche Spiegel können daher dienen, um das Licht möglichst ungeschwächt in eine beträchtliche Entfernung fortzupflanzen.

Fängt man diese parallelen Strahlen durch einen zweiten Hohlspiegel auf, so werden sie neuerdings in einen Focus vereinigt.

---

*) Umgekehrt kann eine der Wirkung des Spiegels gemäß verkehrt gezeichnete Figur in demselben dann regelmäßig gebildet erscheinen.

Stellt man in den ersten Brennpunkt eine starke brennende Lampe, so wird im zweiten die mit dem Lichte zugleich fortgepflanzte Wärme oft so stark, daß man darin einen Schwamm anzünden kann. *)

Entstehung der Farben.

§. 220. Fällt ein Bündel Sonnenstrahlen a (Fig. 84) durch eine kleine runde Oeffnung o in ein Zimmer und auf eine weiße Wand bc, so zeigt sich darauf bei d ein gleich großer runder Lichtkreis. Läßt man aber den Strahlenbündel durch ein gläsernes Prisma p gehen, so werden die Strahlen nicht nur so gebrochen, daß sie bei e auf die Wand fallen, sondern der Lichtkreis wird zugleich in einen länglichten Streifen verwandelt, der deutlich in sieben ineinander fließende Farbenzonen abgetheilt ist und Spektrum heißt.

Diese sieben Farben sind nach ihrer Ordnung folgende: roth, orange, gelb, grün, hellblau, indigblau und violett.

Es ergibt sich aus diesem Versuche unverkennbar, daß nicht alle Strahlen des Sonnenlichts in gleichem Grade brechbar sind, und daß die einzelnen Strahlen einen verschiedenen Eindruck auf unser Auge machen, den wir Farbe nennen, und also von verschiedener Qualität sind. Roth sind die Strahlen, die am wenigsten, violett die, welche am stärksten gebrochen werden. Das Spektrum entsteht, weil in Folge der Brechung mittelst des Prismas die verschiedenartigen Strahlen an besondern Stellen auf die Wand fallen. Das Licht zeigt sich weiß oder farblos, wenn es aus Strahlen von allen jenen sieben Farben und in einem gewissen Verhältnisse gemengt ist. Läßt man daher das Spektrum auf eine Linse fallen, so ergibt sich im Focus wieder ein weißer Lichtkreis.

*) Von einer in neuester Zeit erst entdeckten eigenthümlichen Art von Zurückwerfung des Lichts unter gewissen Umständen, oder der Polarisation, kann hier nicht die Rede seyn. Ebenso glauben wir hier die Phänomene der Beugung nicht berühren zu sollen.

§. 221. Eine ähnliche Zerstreuung des Lichts in verschiedene Farben hat in unzähligen Fällen Statt. Wir sehen sie überhaupt, wenn das Licht durch Gläser mit schief gegeneinanderstehenden Flächen oder Facetten gebrochen wird. Noch lebhafter bei geschliffenen Edelsteinen, da ihre Brechungskraft noch größer ist. Dasselbe geschieht beim Durchgang des Lichts durch Kugeln, und selbst Wassertropfen bewirken sie. Auf diese Weise entsteht das Farbenspiel der Thautropfen, der Regenbogen und mehrere andere Phänomene, deren Erklärung hier zu weit führen würde.

Betrachten wir einen Gegenstand, z. B. ein Blatt weißes Papier, durch ein Prisma, so erscheint es uns mit farbigen Rändern. Wegen der ungleichen Brechung sehen wir nämlich genau genommen sieben farbige Objekte, die sich zwar größtentheils decken, und daher weiß sind; der Rand aber ist gefärbt, weil die einzelnen Bilder übereinander hervorragen. *) Aus demselben Grunde haben die Gegenstände, die wir durch Linsen sehen, einen farbigen Saum; wenn die Linse nicht aus zweierlei Glas (namentlich aus Flint- und Kronglas) zusammengesezt ist, so daß die verschiedene Brechungskraft jene Zerstreuung corrigirt. Ferngläser mit dergleichen Linsen heißen achromatische.

§. 222. Aus der Zusammensetzung des weißen Lichts aus verschiedenen farbigen Strahlen erklären sich leicht die Farben der Körper. Eine Flamme ist weiß, wenn sie Lichtstrahlen aller Art von sich gibt. Blau, gelb, roth u. s. w., wenn sie im Uebermaaße blaue, gelbe, rothe rc. Strahlen aussendet. Dasselbe gilt von den dunklen Körpern. Ein Körper ist roth, wenn er das auffallende Licht zersezt und mehr andere als rothe Strahlen einsaugt, und diese also vorzugsweise reflektirt. Aendert sich die

*) Der berühmte Dichter Goethe, dem diese und andere Farbenerscheinungen nicht begreiflich waren, versuchte in einem umständlichen Buche „zur Farbenlehre“ die Newtonsche Theorie der Farben zu widerlegen. Jedem Physiker, der Mathematik versteht, leuchtet aber gar bald das Ungereimte der Goetheschen Einwendungen ein.

Farbe mit der chemischen Beschaffenheit des Körpers, so geschieht dies, indem er dann das Licht auf eine andere Weise zersetzt. Auf gleiche Weise erklärt sich die Farbe durchsichtiger Materien. Ein Glas ist blau, wenn es vorzugsweise die blauen Strahlen durchgehen läßt und zurückwirft. Einige Körper mögen auch andere Strahlen reflektiren und andere durchgehen lassen, dann erscheinen sie mit verschiedener Farbe bei auffallendem als beim durchgehenden Lichte. Läßt man Licht durch ein blaues Glas auf weißes Papier fallen, so erscheint es blaulicht — gelbes Papier aber nicht blau, sondern grün. Das Glas läßt nämlich immer noch viele farblose Strahlen durch; diese werden zersetzt und das Papier erscheint also zugleich gelb und blau, darum grün. Auch dünne gefärbte Zeuge lassen vorzugsweise farbige Strahlen durch. Hinter rothen Vorhängen haben daher alle Gegenstände eine röthliche Tinte.

§. 223. Eine sehr merkwürdige Trennung der gemischten Lichtstrahlen in farbige hat oft Statt, wenn sie von äusserst dünnen Lagen durchsichtiger Körper reflektirt werden, oder zwischen sehr engen Oeffnungen durchgehen.

Drückt man ein wenig convexes Glas (Fig. 100, Taf. 7) auf ein ebenes, so sieht man um den Berührungspunkt, wo sich also ein überaus dünner Zwischenraum ergibt, mehrere farbige Ringe. Eben solche vielfarbige Streifen zeigen sich oft, wenn man zwei ebene Glasplatten aufeinander drückt; und ähnliche oft im Innern von Gläsern oder Krystallen, wenn sie einen Sprung haben. In allen diesen Fällen wird das Farbenspiel offenbar durch die Reflexion des Lichts an einer überaus dünnen (oft kaum $^1/_{500}$''' dicken) durchsichtigen Schichte erzeugt.

Auf dieselbe Weise entstehen die schillernden Farben der Seifenblasen, der zartesten Häute von Insekten, auf unreinem Wasser u. dgl.

Ein ähnliches Farbenspiel bewirken ganz feine Furchen; zieht man auf polirten Stahl so feine Furchen, daß ihrer mehrere hundert auf eine Linie gehen, so schillert derselbe in den

lebhaftesten Farben. *) Sehr wahrscheinlich entsteht aus derselben Ursache das Farbenspiel der Perlmutter und mancher schillernden Steine (des Labradors u. a.). Auch die Farben der angelaufenen Metalle und Glasscheiben u. a. scheinen auf diese Weise zu entstehen.

Nähere Erklärung des Sehens.

§. 224. Aus dem Bau des Auges läßt sich unschwer erkennen, wie der Augennerv durch verschiedene vor uns befindliche und Licht aussendende Gegenstände besondere Eindrücke erlangen kann, so daß wir sie unterscheiden können.

Fällt von einem hellen Gegenstande a (Fig. 85) Licht durch eine kleine Oeffnung o auf die Fläche b, so entsteht darauf ein mehr oder weniger deutliches, aber verkehrtes Bild. Denn die Lichtstrahlen von jedem Punkte von a fallen auf einen besondern Theil der Fläche b. Bringt man in o ein Linsenglas an, so erhält man ein noch viel deutlicheres Bild; denn die von jedem Punkte ausgehenden Lichtstrahlen werden durch die Linse wieder zusammengebrochen, und steht also die Fläche da, wo sie zusammenlaufen, so muß jeder Punkt von a nur Einen Punkt auf b beleuchten, und alle diese Punkte müssen ein dem leuchtenden Gegenstand ganz ähnliches Bild erzeugen. Bekanntlich hat dies in der Camera obscura Statt.

Dasselbe geschieht aber auch im Auge. Die Lichtstrahlen von allen vor uns liegenden Objekten dringen durch eine kleine Oeffnung, die Pupille, in den Augapfel. Dieser ist mit durchsichtigen Flüssigkeiten erfüllt, und enthält überdies einen linsenförmigen Körper. Durch diese werden die Strahlen so gebrochen, daß jeder Lichtbündel sich auf der hintern Fläche des Augapfels und an einer besondern Stelle in einen Punkt vereinigt. So

*) Der Engländer Barton, der eine Maschine anwandte, mit der er 3 — 5000 Furchen auf einen Zoll ziehen konnte, erzeugte Stahlknöpfe, die am Lichte wie Diamanten funkeln. Er nannte sie Iris-ornaments.

entsteht auch hier ein kleines Bild von allen Objekten; und da auf jener Fläche der feine Augennerv ausgebreitet ist, so erhält dieser je nach den einwirkenden Gegenständen verschiedene Lichtempfindungen, und dieses Empfinden ist das Sehen.

§. 225. Um recht deutlich zu sehen, müssen die Bilder recht scharf sich zeichnen, und daher die Spitzen der Strahlenkegel genau auf die Nervhaut (Netzhaut) fallen; dies hängt aber zum Theil von der Entfernung der Gegenstände ab. Wir sehen daher nicht in jeder Entfernung gleich gut, obschon wir die Gestalt des Auges nach Bedarf etwas verändern können.

Dann sehen viele Leute nur nahe, andere nur ferne Gegenstände deutlich. Bei jenen, den Kurzsichtigen, bricht nämdie Linse das Licht zu stark; bei den Fernsichtigen zu schwach. Diesem Fehler kann man aber durch Brillen, und zwar dem erstern durch concave, dem leztern durch convexe abhelfen.

Je weiter ein Objekt sich vom Auge entfernt, desto kleiner wird unstreitig das Bild. Wir sollten daher einen Menschen, der 10mal weiter von uns steht, als ein anderer, 10mal kleiner und neben demselben, sehen. Daß dies nicht geschieht, ist Sache der Erfahrung. Einerseits wissen wir, daß beide Menschen ungefähr gleich groß seyn werden; anderseits sehen wir eine Menge Gegenstände zwischen beiden; das kleinere Bild führt daher bloß zu dem Urtheil, daß es verhältnißmäßig ferner steht. Sehr oft kommt diesem Urtheil noch ein anderer Umstand zu Hülfe; je entfernter ein Gegenstand ist, desto blasser wird er, und desto unkenntlicher sind die einzelnen Theile desselben.

§. 226. Daß es sich also verhalte, lehrt offenbar unser Verfahren beim Zeichnen und Malen. Sollen die Gegenstände auf einer Zeichnung in verschiedener Entfernung uns erscheinen, so müssen sie genau nach der Entfernung verhältnißmäßig kleiner und undeutlicher gezeichnet werden. Derjenige Theil der Zeichnungskunst, der lehrt, wie die Objekte nach ihrer Entfernung vom Auge gezeichnet werden müssen, damit sie uns in derselben richtig erscheinen, heißt die Perspektive; und der, der lehrt, wie

überdies die Beleuchtung und Färbung naturgemäß nach der Entfernung zu verändern ist, um die Täuschung noch vollkommener zu machen, die Luftperspektive. *) Sehen wir Gemälde, die vollkommen nach diesen Regeln gezeichnet und gemalt sind, und ist unser Auge auf diese beschränkt, wie bei den Panoramas und Dioramas, so machen sie oft den täuschendsten Eindruck.

Auf dasselbe Prinzip gründen sich die Wirkungen der Fantasmagorie. Bringt man in einem ganz finstern Raum vermittelst einer Zauberlaterne ein Bild hervor, und vergrößert oder verkleinert man dasselbe abwechselnd mit Hülfe eines converen Glases, so scheint uns das Bild sich bald zu nähern, bald zu entfernen, indem wir keine andern Gegenstände sehen, aus denen wir erkennen, daß es am gleichen Orte bleibt.

Ebenso sehen wir jeden entferntern Gegenstand auch wirklich kleiner, sobald andere Umstände uns eine richtige Beurtheilung der Entfernung, als Ursache des kleinern Bildes im Auge, unmögli chmachen. Auf dem Meere kommen uns ferne Schiffe ꝛc., in der Luft große Vögel ganz klein vor. In großer Höhe erscheint ein Luftballon wie eine kleine Kugel, von hohen Bergen die Ebene wie ein Basrelief. Darum erscheinen uns Mond und Sonne ungefähr gleich groß, weil die Sonne, obschon ihr Durchmesser an 400mal größer ist, wegen ihrer größern Entfernung ein gleich großes Bild auf der Netzhaut macht.

Die Größe des Bildes richtet sich nach der Größe des Sehwinkels. Ist o (Fig. 86) die Pupille, ab ein Gegenstand, so heißt der Winkel aob der Sehwinkel. cd gibt ein größeres Bild, weil der Sehwinkel cod größer ist.

Betrachten wir einen Gegenstand durch Linsen, so kommen die Lichtstrahlen in einer veränderten Richtung in unser Auge; er erscheint uns daher und zwar durch Converlinsen größer, und durch Hohllinsen kleiner. Auf die Erklärung dieser Wirkung,

---

*) Ferne Berge z. B. werden matter, trüber und bläulichter gemalt, weil die große Luftmasse, durch die wir sie sehen, sie also erscheinen läßt.

aus welcher die der Mikroscope und Ferngläser zu begreifen ist, werden wir in der Folge zurückkommen.

§. 227. Manche optische Erscheinungen gründen sich aber noch auf die eigenthümliche Reizbarkeit des Augennervs.

Wie schon bemerkt (196), wird diese durch starken Lichteindruck abgestumpft und durch die Finsterniß wieder erhöht. Daraus erklären sich noch einige merkwürdige Phänomene. Betrachtet man eine Zeitlang starr einen hellen Gegenstand, z. B. ein Stückchen weißes Papier, das auf einem Bogen schwarzem liegt, und sieht man dann plötzlich auf eine weiße Wand, so erblickt man darauf einen grauen Fleck, von der Größe jenes weißen Papiers. Es rührt dies daher, daß, während wir starr auf jenes erhellte Papier blicken, so daß das Bild auf der Netzhaut eine Zeitlang dieselbe Stelle traf, diese allein etwas unempfindlich wurde, und daß also, wenn wir sodann auf die Wand schauen, die weißen Strahlen, die auf jene Stelle fallen, nun weniger Eindruck machen, als auf die übrigen, die durch das Haften auf dem schwarzen Papier vielmehr empfindlicher geworden sind. Das Umgekehrte geschieht, wenn wir zuerst ein, auf weißem Papier liegendes, Stück schwarzes fixiren.

Noch auffallender sind die Erscheinungen, wenn wir die Versuche mit gefärbten Papieren oder Zeugen machen; fixiren wir z. B. ein Stückchen rothes Band, das auf einem weißen Blatte ruht, so sehen wir nachher an der Wand ein grünes Bild. Dies erklärt sich daraus, daß jene Stelle der Netzhaut nur für das rothe Licht unempfindlicher wurde, daß sie daher von den weißen Strahlen, die von der Wand auf diese Stelle fallen, nur die rothen weniger empfindet, und daß die übrigen also, wenn sie vereinigt grün sind, den Eindruck von grünem Lichte machen müssen. Man nennt diese grüne Farbe die Ergänzungsfarbe der rothen.

Mancherlei Täuschungen können durch solche Eindrücke bewirkt werden. Sieht man in die Sonne, so erblickt man oft nachher, wohin man sieht, eine Lichtkugel ꝛc. *)

*) Ein merkwürdiges, zum Theil aus der Lehre von den Ergänzungsfarben erklärbares Phänomen ist das der gefärbten

§. 228. Andere Erscheinungen rühren daher, daß der Eindruck oder die Wirkung des Lichts auf den Nerv nicht augenblicklich aufhört, sondern wenigstens $1/8$ Sekunde lang dauert.

Jeder weiß, daß, wenn man ein glühendes Holz schnell bewegt, man einen glühenden Streif sieht. Dreht sich ein Feuerrädchen in 1 Sek. 8mal um, so müssen wir ununterbrochene Feuerkreise sehen. Aus derselben Ursache erscheinen uns elektrische Funken, und namentlich der Bliz, als lange Strahlen. Ebenso sehen wir eine feurige Kugel, wenn sie in $1/8$ Sekunde einen beträchtlichen Weg zurücklegt.

Es geht daraus auch eine merkwürdige Folgerung für die Theorie des Lichts hervor. Wir können nämlich annehmen, daß die Lichttheilchen mehrere 1000 Meilen von einander abstehen, denn da sie einen solchen Weg in $1/8$ Sekunde durchlaufen, so würden sie dennoch als ununterbrochene Strahlen erscheinen. Und diese Ansicht macht denn auch begreiflich, daß die Lichtstrahlen sich nicht leicht verwirren, daß unzählige auf Einmal in unser Auge kommen können, daß die Sonne, obschon sie fortdauernd Licht aussendet, nicht merklich kleiner werden muß u. a. m.

Andere Wirkungen des Lichts.

§. 229. Das Licht ist nicht allein die Bedingung des Sehens, sondern es äussert noch mehrere andere wichtige Wirkungen.

Das Sonnenlicht, es sey, daß es an sich warm ist, oder daß es bloß den Wärmestoff der Erde entbindet, ist die nächste Ursache der Erwärmung der Erdoberfläche; und der ungleiche Stand der Sonne gegen die Erde, sowie die Bewegung der leztern um jenen Himmelskörper, die Ursache nicht bloß von der verschiedenen Beleuchtung der Erde, sondern von dem so wohl-

Schatten. Am Morgen und Abend sind die Schatten der Körper mehr oder weniger blau; und wirft ein zugleich von der aufgehenden Sonne und von einem Kerzenlichte beleuchteter Körper zwei Schatten, so zeigt sich der eine blau, der andere gelb.

thätigen Wechsel der Jahrszeiten und der Temperatur, wodurch der größte Theil unsers Planeten bewohnbar wird.

Ohne Zweifel hat ferner das Licht, nicht nur insofern es Licht erzeugt, Einfluß auf die Vegetation und das Leben der organischen Wesen überhaupt, sondern auch auf unsere Atmosphäre. Das Licht endlich übt theils für sich, theils unter Mitwirkung der Luft einen oft sehr merklichen Einfluß auf die Färbung der Körper aus. Viele Farben verbleichen allmählig am Lichte, und es befördert daher das Bleichen.

Elfter Abschnitt.

Von der Elektrizität.

§. 230. Gewisse Naturerscheinungen heißen elektrische, weil sie einer besondern Kraft oder eigenen feinen Materie zugeschrieben werden müssen, die man Elektrizität nennt; von Elektrum, dem griechischen Namen des Bernsteins, an dem man zuerst diese Erscheinungen beobachtete.

Die Wirkungen der Elektrizität kommen im Gebiete der Technik zwar selten in Betracht, sie sind jedoch an sich so merkwürdig, und die Kenntniß ihrer Gesetze erklärt so manche Naturphänomene, daß in dem allgemeinen Theile einer industriellen Physik wenigstens die namhaftesten Erscheinungen der Elektrizität nicht unbeachtet bleiben dürfen.

Die Elektrizität kommt besonders zum Vorschein, wenn gewisse Körper gerieben werden, obschon auch andere Veränderungen dieselbe erregen können.

Reibt man z. B. eine glatte Glas- oder Siegellackstange mit einem trockenen wollenen Tuche, so wird sie nicht bloß wärmer, sondern die geriebene Stange zeigt die Eigenschaft, kleine leichte Körper, z. B. Haare, Papierstückchen, Korkkügelchen und dergleichen anziehen und wieder abstoßen zu können. Zugleich erzeugt das Reiben im Finstern Licht, und berührt man die geriebene Stange, so brechen kleine knisternde Funken hervor. Ferner erregt die Stange, wenn man sie dem Gesicht nähert, eine Empfindung, als wenn sie mit Spinneweben überzogen wäre, und man verspürt einen phosphorartigen Geruch.

§. 231. Alle diese Erscheinungen, die nicht Wirkungen der Erwärmung sind, nennt man elektrische, und einen Körper,

der solche zeigt, elektrisirt; die Ursache aber schreibt man einer äusserst feinen, unwägbaren Materie, der elektrischen, zu.

Nur wenige Körper werden durch Reiben (oder Erwärmen) leicht elektrisirt. Solche, wie z.B. Glas, Harz, Schwefel, Seide u.a. heißen elektrische; so wie die, welche sich nicht auf diese Weise elektrisiren lassen, unelektrische.

Ist aber ein Körper bereits elektrisirt, so können auch andere vermittelst desselben, und zwar auf zweierlei Weise, durch Mittheilung oder Vertheilung elektrisirt werden. Die elektrische Materie kann also in andere Körper übergehen, oder in andern Elektrizität hervorrufen.

Bestreicht man z. B. einen, an einen seidenen Faden aufgehängten Metalldraht mit der geriebenen Glasstange, so verliert diese einen Theil ihrer Elektrizität, während der Draht elektrisirt wird. Die elektrische Materie wird also diesem mitgetheilt.

Nähert man hingegen bloß jenen Draht der Stange, so gibt derselbe, wenn man ihn berührt, einen kleinen Funken, und zeigt sich nun nach der Entfernung auch elektrisch, obgleich die Stange keine Elektrizität verloren hat; in diesem Falle erregt also die Stange Elektrizität in einem andern Körper ohne Mittheilung; sie wirkt, wie man sagt, durch Vertheilung.

Die elektrische Materie geht ferner in einige Körper ungleich leichter über als in andere. Man nennt jene Leiter, diese Nichtleiter. Schon die Luft muß namentlich unter die Nichtleiter gehören, denn würde sie die elektrische Materie leicht aufnehmen, so würde die geriebene Stange keine Elektrizität zeigen, weil sie sie sofort wieder verlöre, und überhaupt kaum irgend ein Körper elektrisirt werden können. Ebenso müssen in obigen Versuchen die Seidenfäden Nichtleiter seyn, denn nur so ist begreiflich, daß die elektrische Materie sich nicht sofort aus dem Draht verliert; und in der That, faßt man den Draht mit der Hand, oder hängt man ihn an einen leinenen Faden auf, so zeigen sich jene Erscheinungen nicht.

Soll daher ein Körper elektrisirt werden können, so muß er entweder mit lauter Nichtleitern umgeben, d. h. isolirt, oder aber selbst ein Nichtleiter seyn; und wirklich gehören sämmtliche elektrische Körper zu den Nichtleitern. Alle leitenden hingegen, wie namentlich die Metalle, das Wasser, der menschliche Körper u. a. sind zugleich unelektrisch. Substanzen, die weder gut leiten noch isoliren, wie Holz, Papier u. a. nannte man Halbleiter.

§. 252. Vermittelst ganz einfacher Versuche läßt sich endlich zeigen, daß es zwei Arten von Elektrizität gibt, die sich gewissermaßen wie entgegengesezte Größen zu einander verhalten, und die man daher positive und negative Elektrizität oder + E und — E nennt.

Nähert man ein an einem Seidenfaden hängendes, also isolirtes, Kork- oder Hollundermark-Kügelchen einer geriebenen Glasstange, so wird es davon angezogen; sowie es aber Elektrizität erhalten, abgestoßen. Nähert man dem Kügelchen einen nicht elektrisirten leitenden Körper, so scheint dieser nun das Kügelchen anzuziehen. Sowie es aber dadurch die Elektrizität verloren, bewegt es sich wieder gegen die Glasstange.

Ganz dasselbe geschieht, wenn diese Versuche mit einer Siegellackstange angestellt werden.

Hat man aber zugleich eine geriebene Glas- und eine geriebene Siegellackstange, so findet man, daß das Korkkügelchen immer von derjenigen, deren Elektrizität es erhalten, abgestoßen, von der andern hingegen und mit Gierigkeit angezogen wird.

Nennen wir die Elektrizität des Glases + E, die des Siegellacks — E, und die Beschaffenheit des nicht elektrisirten Körpers oE, so lassen sich jene Ergebnisse also ausdrücken:

+ E zieht an — E und + E stößt ab + E.
— E „ + E „ — E „ — E.
+ E „ o E „ o E zieht an + E.
— E „ o E „ o E zieht an — E.

oder

1) gleichnamig elektrisirte Körper stoßen sich ab;

2) ungleichnamig elektrisirte Körper ziehen sich an;

3) elektrisirte und nicht elektrisirte ziehen sich an.

§. 233. Vor etwa 100 Jahren kannte man von der Elektrizität wenig mehr, als die eben angegebenen Erscheinungen. Da erfand man aber Apparate, die uns in den Stand setzen, die Elektrizität anhaltend zu erregen und weit stärkere Wirkungen hervor zu bringen. Diese Apparate heißen **Elektrisirmaschinen.**

An jeder Elektrisirmaschine unterscheidet man drei Haupttheile: den Reiber, das Reibzeug und den Conduktor.

Der **Reiber** ist der Körper, in dem durch Reibung Elektrizität erzeugt werden soll. Sonst wendete man Kugeln oder Cylinder von Glas oder Harz an; jezt ist der Reiber a (Fig. 87) gewöhnlich eine dicke runde Scheibe von grünlichem Glas, in deren Mitte eine Axe befestigt ist, die mittelst einer Kurbel umgedreht werden kann.

Das **Reibzeug** b besteht aus ledernen Kissen, die mit Zinn- oder Zinkamalgama bestrichen sind, und die durch irgend eine Vorrichtung an die Scheibe angedrückt werden können, so daß sie sich beim Umdrehen an dem Amalgama reibt.

Der **Conduktor** c ist ein abgerundeter, meist hohler Körper von Blech oder mit Staniol überzogener Pappe, der auf Glassäulen d ruht, oder an seidenen Schnüren hängt, so daß er isolirt ist. Er hat zwei am Ende mit Saugspitzen versehene Arme e, die der Scheibe angenähert werden können, und die elektrische Materie aufnehmen.

Ist der Reiber von Glas, so zeigt er + E.

Die Wirksamkeit einer Maschine hängt von mehreren Umständen ab, und hauptsächlich:

1) Von der Beschaffenheit und Größe des Reibers und des Reibzeugs. Sie ist bedeutend größer, wenn das Amalgam frisch aufgetragen und gut bereitet ist.

2) Von der Oberfläche und Abrundung des Conduktors; denn je größer jener ist, desto mehr Elektrizität kann er aufnehmen, und je runder er überall ist, desto besser behält er sie.

3) Von der Isolirung und Beschaffenheit der Luft. Je trockener die Luft ist, desto weniger leitet sie. Bei feuchter Witterung ist die Wirkung daher ungleich schwächer, als bei trockener. Es ist deßhalb auch vortheilhaft, die Maschine vorher der Sonne auszusetzen, oder die Versuche in einem geheizten Zimmer vorzunehmen, und zur Seite der Scheibe isolirende Blätter von Wachstaffent anzubringen. Begreiflich ist daraus noch, daß der Conduktor in einem gewissen Verhältniß zur Kraft der Maschine stehen muß; denn je größer die Oberfläche ist, desto mehr Elektrizität wird ihm entzogen, wenn die Luft nicht völlig isolirt, wäre er also zu groß, so würde sich oft fast keine Elektrizität darauf ansammeln. *)

Damit endlich die Maschine die größte Wirksamkeit habe, muß das Reibzeug durch einen Leiter (z. B. eine Metallkette) mit der Erde in Verbindung stehen.

Schon hieraus läßt sich schließen, daß bei der Erregung der Elektrizität das Reibzeug nicht passiv bleibt; und in der That zeigt sich, daß, so oft in dem Reiber + E entwickelt wird, die entgegengesezte Elektrizität oder — E in dem Reibzeuge entsteht, und diese nur darum gewöhnlich nicht bemerkt wird, weil es durch Leiter, welche die Elektrizität abführen, mit der Erde in Verbindung steht.

Ist auch das Reibzeug isolirt, indem z. B. das Gestell auf Glassäulen steht, und wird auch dieses mit einem isolirten Conduktor verbunden, so zeigen sich beim Umdrehen beide elektrisirt, der Conduktor der Scheibe zeigt + E, und der des Reibzeugs — E. In beiden ist jedoch die Elektrizität nur schwach. Wird aber der Conduktor der Scheibe durch eine Kette mit der

*) Die Menge von Elektrizität, die ein Körper aufnehmen kann, hängt nämlich von der Oberfläche, nicht von der Masse ab; sowie denn auch die elektrische Materie bloß an der Oberfläche zu haften scheint.

Erde verbunden, so kann nun auch in dem des Reibzeugs die negative Elektrizität gesteigert werden.

§. 234. Da mit Hülfe einer Elektrisirmaschine anhaltende Elektrizität erregt und diese auf dem Conduktor in bedeutender Quantität angesammelt werden kann, so lassen sich nun alle elektrische Phänomene ungleich auffallender darstellen.

Im Dunkeln sieht man deutlich, wie die Erzeugung der Elektrizität mit Lichtentwicklung verbunden ist, sey es, daß die freie elektrische Materie an sich leuchtend ist, oder bloß, daß sie bei ihrem Uebergang in andere Körper Licht entbindet. Ebenso ist nun der phosphorige Geruch sehr stark bemerkbar.

Nähert man dem Conduktor einen isolirten Leiter mit runder Fläche (z. B. eine an einer seidenen Schnur hängende Blechkugel), so erblickt man einen Funken, indem der Conduktor der Kugel, und zwar nach Verhältniß ihrer Oberfläche, Elektrizität mittheilt.

Ein noch stärkerer Funken entsteht, wenn man ihm einen nicht isolirten Leiter nähert, denn dieser entzieht ihm augenblicklich alle Elektrizität.

Je mehr elektrische Materie der Conduktor enthält, auf eine desto größere Distanz kann der Funke überspringen. Dieser Abstand heißt die Schlagweite. Kräftige Maschinen geben oft sechs und mehr Zoll lange Funken. *)

Hat der Conduktor scharfe Ecken, so sieht man aus diesen Elektrizität ausströmen. Noch sichtbarer wird dies, wenn man mit Wachs eine Nadel darauf befestigt. Im Dunkeln erscheint

*) Daß die Materie, indem sie ausströmt, einen dichten Funken bildet, ist aber zugleich Wirkung der Luft. In ganz dünner Luft verbreitet sich das Licht, so daß kein Funken entsteht. Daher leuchtet auch die Torricellische Leere im Barometer (§. 114), wenn beim Schütteln die Reibung des Quecksilbers am Glase etwas Elektrizität erzeugt.

dann an der Nadelspitze ein leuchtender Pinsel, wenn der Conduktor + E, und ein leuchtender Stern, wenn er — E ausströmt. *)

Aehnliches zeigt sich, und in ziemlicher Entfernung schon, wenn man die Spitze eines Leiters gegen den Conduktor richtet. Es zeigt sich an der Spitze nun aber ein Stern, wenn der Conduktor + E, und ein Lichtpinsel, wenn er — E hat.

In allen diesen Fällen verliert der Conduktor Elektrizität, und deßhalb wird nöthig, daß nicht nur der Conduktor überall abgerundet, sondern daß er von allen spitzen Körpern ziemlich weit entfernt sey.

Steht eine Person auf einem Isolirgestell, z. B. auf einem Schemel mit Glasfüßen, und zugleich in Verbindung mit dem Conduktor, so wird auch sie elektrisirt; man erhält Funken, wenn man auch ihr sich gehörig annähert; und geschieht dies mit dem Knöchel eines Fingers, so empfinden beide Personen den Funken. Berührt die elektrisirte Person aber sich selbst, so entsteht natürlich kein Funken.

Diese stärkern Funken haben nicht nur Wirksamkeit genug, um eine stechende Empfindung zu verursachen, sondern auch um leicht entzündliche Substanzen, wie namentlich erwärmten Weingeist, zu entzünden. Auch dies kann leicht eine elektrisirte Person bewerkstelligen, indem sie den Finger dem Weingeist nähert.

Durch einen langen Leiter, z. B. eine Kette oder einen Draht, kann die Elektrizität auf eine unbestimmte Weite fortgepflanzt werden, und diese Fortpflanzung geschieht mit unmeßbarer

*) Das Ausströmen der Elektrizität verursacht zugleich, wie wenn sie herausbliese, eine Bewegung der Luft; und stellt man auf den Conduktor auf einer Spitze einen S förmig gekrümmten Draht, so wird dieser in eine schnell rotirende Bewegung versezt, während beide spitzen Enden Licht ausströmen. Auf demselben Prinzip beruhen die in Flaschen eingeschlossenen Strohhalm- und Goldblatt-Elektrometer, die oft so empfindlich sind, daß sie durch Auseinandergehen fast jede Spur von Elektrizität anzeigen.

Geschwindigkeit. Hat die Fortleitung nicht ununterbrochen Statt, so erscheint an jeder Unterbrechungsstelle, wofern sie nicht zu groß ist, ein kleiner Funken, indem die elektrische Materie überspringt.

Klebt man auf eine Glastafel a (Fig. 88) Stanniolstreifen und schneidet man hie und da kleine Stückchen aus, so daß die Lücken eine Figur bilden, so erscheint auf einmal die ganze Figur leuchtend, so oft man einen Funken bei b in die Tafel schlagen läßt, und sie bei c hält. Die elektrische Materie, die nach der Hand abfließen will, geht nämlich dem Stanniolstreifen als einem guten Leiter nach, und mit solcher Schnelligkeit, daß gleichzeitig an allen Unterbrechungsstellen Funken erscheinen.

Ueberhaupt ist diese Geschwindigkeit Ursache, daß wir den elektrischen Funken als einen Strahl sehen. (S. §. 228.)

§. 235. Klebt man an einen Conduktor zwei Korkkügelchen an zwei gleich lange linnene Fäden, so entfernen sie sich, sowie jener elektrisirt wird, und um so mehr, je stärker die elektrische Spannung wird. Denn beide Körper stoßen sich gegenseitig ab, weil sie gleichnamige Elektrizität erhalten. Man kann auf diese Weise einigermaßen den Elektrizitätsgrad des Conduktors messen, und nennt ein solches Kugelpaar einen Elektrometer. Noch dienlicher ist die auf dem Conduktor a (Fig. 89) stehende Vorrichtung b; je stärker er elektrisirt ist, desto höher steigt die an einem leitenden Stäbchen befestigte Kugel c. So oft man dem Conduktor einen Funken entzieht, fällt jene Kugel zurück; ein deutlicher Beweis, daß er augenblicklich alle Elektrizität verliert.

Schon die Versuche mit Spitzen, die man gegen den Conduktor kehrt, zeigen, daß der elektrische Wirkungskreis viel weiter reicht, als die Schlagweite. Dasselbe zeigen noch andere Erscheinungen. Ein leichter Körper wird in beträchtlicher Entfernung schon angezogen. Ebenso sieht man in solcher schon, daß unsere Haare sich sträuben u. dgl. Insbesonders zeigt sich dies aber daran, daß in ziemlicher Distanz Körper durch Vertheilung elektrisirt werden können. (§. 231.)

§. 236. Auf mannichfaltige Weise lassen sich mit der Elektrisirmaschine die Phänomene des Abstoßens und Anziehens darstellen.

Legt man auf den Conduktor leichte Körper, so fliegen sie weg, wie man die Maschine in Thätigkeit sezt. Heftet man an denselben einen Federbusch oder Baumwolle, so blähen sich diese Körper auf, weil die Fasern sich untereinander abstoßen. Bringt man mit dem Conduktor ein an einem Metallfaden hängendes Glöckchen a in Verbindung, und hängt man zwischen diesem und zwei mit der Erde communizirenden Glöckchen b und c, zwei Klöppel an seidenen Faden auf, so werden diese beständig hin- und hergehen und eine Art Glockenspiel hervorbringen. Wie nämlich die Klöppel Elektrizität von a empfangen, werden sie von b und c angezogen, und wie sie diese wieder abgegeben haben, zieht sie von Neuem die mittlere Glocke an. Auf dasselbe Prinzip gründen sich eine Menge elektrischer Spielwerke, der Puppentanz, die tanzenden Kugeln, die elektrische Spinne u. dgl.

Zu den merkwürdigern Versuchen gehört noch folgender: Hängt man an den Conduktor ein kleines Gefäß mit Wasser, dessen Boden so enge Löcher hat, daß das Wasser nicht auslaufen kann, so wird es sofort ausströmen, sowie der Conduktor elektrisirt wird. Auch dies rührt daher, daß die Wassertheile, sowie sie elektrisirt werden, sich untereinander abstoßen.

Theorie der Elektrizität.

§. 237. Fast gleichzeitig wurden in der Mitte des vorigen Jahrhunderts zwei Theorien zur Erklärung der elektrischen Phänomene aufgestellt, die eine von Franklin, die andere von Symmer.

Nach der Franklin'schen gibt es nur Eine Art elektrische Materie. Jeder Körper enthält in seinem natürlichen Zustande eine gewisse Menge dieser Materie, und dann zeigt er keine elektrische Eigenschaften. Diese treten nur dann hervor, wenn er davon zu viel oder zu wenig (+ oder − E im eigentlichen Sinne) besizt. Alle elektrischen Phänomene beruhen demnach auf

Störung und Wiederherstellung des Gleichgewichts. Durch das Reiben z. B. wird dieses aufgehoben; das Glas erhält ein Uebermaaß auf Kosten des Reibzeugs, und begreiflich wird, daß jenes um so stärker elektrisirt werden kann, wenn dieses mit der Erde in Verbindung ist. Hat ein Körper — E oder Mangel an Elektrizität, so zieht er andere an, weil er ihnen Elektrizität zu entziehen sucht. Hat er + E oder Ueberfluß, so nähern sich andere Körper, weil sie jenen Ueberfluß theilen wollen. Noch lebhafter ziehen sich ungleichnamig elektrisirte Körper an; und begreiflich wird umgekehrt das Abstoßen der gleichnamig elektrisirten. Der Funken entsteht, wenn aus dem einen oder dem andern Elektrizität übergeht, und die Geschwindigkeit hindert nur, zu sehen, daß ein — E habender Körper den Funken empfängt und nicht gibt. Die Vertheilung erklärt sich auf folgende Weise:

Kommt ein Körper a bloß in den Wirkungskreis des Conduktors b, so daß keine Mittheilung Statt findet, so stößt doch, wenn b z. B. + E hat, jenes Uebermaaß die elektrisirte Materie in a zurück, so daß bei x Mangel oder — E, und bei y + E entsteht. Ist nun a isolirt und berührt man ihn bei y, so wird ihm dieses + E entzogen. Entfernt man ihn also nachher aus dem Wirkungskreis, so hat der ganze Körper a zu wenig Elektrizität und zeigt daher — E, und zwar ohne daß b Elektrizität verloren hat.

§. 238. Nach dem Symmer'schen System gibt es zweierlei elektrische Materien, eine positive und eine negative, und dieses System heißt daher auch das dualistische. Beide haben eine große Verwandtschaft zu einander, ziehen sich gegenseitig an und neutralisiren sich (ungefähr so wie Säuren und Alkalien), wenn sie sich vereinigen. Alle Körper im gewöhnlichen Zustande enthalten ein gewisses Quantum dieser beiden Materien und äussern deßhalb keine elektrischen Eigenschaften, dies geschieht erst, wenn die eine oder andere vorwaltend wird. Das Elektrisiren besteht nach diesem System also in einer Zersetzung oder Trennung beider elektrischen Materien. Ein Funken entsteht,

wenn aus zwei Körpern Elektrizität, aus dem einen + E und aus dem andern — E gegenseitig abgegeben wird. Ebenso gründet sich die Vertheilung auf eine Zersetzung.

Aus beiden Theorien lassen sich die allermeisten Phänomene sehr gut erklären; die Franklin'sche ist unstreitig die einfachere; die Symmer'sche aber entspricht besser zumal den neuesten Erfahrungen: und die jetzigen Physiker sind fast alle daher dieser zugethan.

Verstärkte Elektrizität.

§. 239. Klebt man auf jede Seite einer Glasscheibe a (Fig. 90), ein Blatt Staniol b und c, so daß ein beträchtlicher Theil des Randes unbedeckt bleibt, und ertheilt man der einen Belegung b Elektrizität, während die andere c auf einer leitenden Substanz aufliegt, so häuft sich in beiden Belegungen eine ungewöhnliche Menge und zwar entgegengesezter elektrischen Materie an, und wenn man darauf b und c mittelst eines Leiters in Verbindung bringt, so bricht sogleich ein Funken von besonderer Kraft aus.

Das Gleiche geschieht, wenn man eine Flasche a (Fig. 91) aussen und innen bis auf einige Zoll von der Oeffnung mit Stanniol belegt (oder wenn man sie statt der innern Belegung mit Wasser oder Eisenfeile füllt) und in die Flasche eine mit einem Knopf b versehene Metallstange steckt. Hält man die aussen also belegte Flasche mit der Hand an einen Conduktor, so daß der Knopf Funken erhält, so wird sie auf ähnliche Weise *geladen*, und berührt man darauf mit einem Finger den Knopf, während man mit der andern Hand die Flasche hält, so ergibt sich ein lebhafter Funken und man verspürt eine mehr oder weniger starke Erschütterung. Nachher zeigt die Flasche keine elektrische Wirkung mehr; sie ist *entladen*.

Diese merkwürdige Entdeckung wurde fast zu gleicher Zeit von Kleist und einigen Physikern zu Leyden gemacht, und eine solche Flasche, welche eine verstärkte elektrische Wirkung thut, nennt man daher eine Kleistische oder Leydner Flasche.

§. 240. Die Wirkung erklärt sich auf folgende Weise. Ertheilt man der innern Belegung +E, so sucht diese sich mit —E zu verbinden, zersezt daher die neutrale Elektrizität auf der Aussenseite der Flasche und zieht —E nach der äusseren Belegung. Ist diese in Verbindung mit der Erde, so kann eine sehr bedeutende Menge +E auf der innern und —E auf der äussern Belegung sich sammeln, die beide sich anziehen und zu verbinden streben, sich aber nicht verbinden können, weil das Glas den Durchgang hindert. Diese beiderlei Elektrizitäten befinden sich hiemit in einer Art Spannung, und binden oder halten sich gegenseitig; und daher kann auch eine solche Flasche Stunden und Tage lang geladen bleiben. Sowie aber beide Belegungen durch einen Leiter (z. B. den menschlichen Körper) in Verbindung kommen, hat eine Vereinigung beider Elektrizitäten Statt, und eine so plötzliche, daß die Wirkung weit heftiger als die beim gewöhnlichen Uebergang der elektrischen Materie seyn muß.

Begreiflich ist jedoch, daß die Ladung einer Flasche eine gewisse Grenze haben muß, und daß sie sich, wenn sie überladen wird, von selbst entladen mag. Gewöhnlich bleibt auch nach der Entladung etwas Elektrizität zurück, so daß meist eine Flasche noch einen zweiten, freilich nur ganz schwachen Schlag geben kann. Leicht kann man aber beliebig starke Wirkungen erhalten, wenn man mehrere Flaschen, deren innere Belegungen communiziren, zugleich ladet.

Um, ohne selbst eine Wirkung zu verspüren, Flaschen entladen zu können, wendet man ein Werkzeug an, das Auslader heißt, und aus zwei beweglichen Armen von Metall ab (Fig. 92) und einem gläsernen Griff c besteht. Vermittelst dieser oder ähnlicher Vorrichtungen kann man dann leicht auch die Wirkung der verstärkten Elektrizität auf allerlei Körper versuchen.

Man findet auf diese Weise, daß eine Menge verbrennlicher Substanzen sich leicht dadurch entzünden lassen; daß kleine Thiere dadurch getödtet werden können; daß dünne Metalldrähte

geschmolzen oder oxydirt werden, und unzählige elektrische Spielwerke lassen sich mit Hülfe der Leydnerflasche ausführen.

Läßt man den Funken durch Pappblätter fahren, so werden sie durchlöchert, und zwar zeigt sich dann auf beiden Seiten ein aufgeworfener Rand, was hauptsächlich zu bestätigen scheint, daß immer zweierlei Materien zugleich durchgehen.

Geben sich mehrere Personen die Hände, so fühlen alle die Erschütterung, wenn die erste die Flasche hält, und die lezte durch Berührung des Knopfes sie entladet.

Der Elektrophor.

§. 241. Der Elektrophor ist ein auf das Gesetz der Vertheilung gegründeter sehr bequemer Apparat, um sich, ohne einen elektrischen Körper jedesmal zu reiben, stets kleine Funken zu verschaffen.

Er besteht aus zwei Theilen, einer mit Harz oder Siegellack ausgegossenen Kuchenform o (Fig. 93) und einem mit Stanniol überzogenen, an drei seidenen Schnüren hängenden Deckel p, von etwas kleinerm Durchmesser.

Peitscht man den Kuchen mit einem Hasen- oder Katzenpelz, so wird derselbe negativ elektrisch, und bedeckt man ihn mit dem Deckel p, so entzieht ihm dieser, da er nur an wenig Punkten ganz dicht aufliegt, die Elektrizität nicht, wohl aber bewirkt das — E des Kuchens eine Vertheilung des oE im Deckel, und da dieser isolirt ist, wird die untere Fläche + E und die obere — E enthalten. Berührt man sodann p mit dem Finger, so wird das — E in diesen übergehen, man empfängt einen kleinen Funken, das + E aber der untern Fläche wird durch das — E des Kuchens beschäftigt und festgehalten. Jenes wird aber frei und der Deckel zeigt + E, sowie man ihn an den Schnüren vom Kuchen weghebt.

Da ferner der Kuchen dabei keine Elektrizität abgibt, sondern sein — E vielmehr durch den Deckel zurückgehalten wird, so kann man, ohne ihn frischerdings zu elektrisiren, nach Belieben

die Operation wiederholen, und nach Wochen und Monaten sogar lassen sich oft noch Funken aus dem Elektrophor erzeugen.*)

Auf eine sinnreiche Weise ist der Elektrophor bei der elektrischen Zündlampe angewendet.

Erregung der Elektrizität ohne Reiben.

§. 242. Die Reibung ist nicht das einzige Mittel, Elektrizität zum Vorschein zu bringen. Schon die Alten wußten, daß der Turmalin durch bloße Erwärmung die Eigenschaft erhält, leichte Körperchen anzuziehen; und man nannte diesen Stein daher Aschenzieher und tire-paille (Strohzieher). Seitdem bemerkte man, daß mehrere Steine (Borazit, Topas, Beryll, Diamant u. a.) durch Erwärmung elektrisch werden, und zwar, daß sie immer an einem Ende + E, am andern — E zeigen.

Verschiedene Substanzen (wie Schwefel, Chocolade, Wachs u. a.) werden elektrisch, wenn sie geschmolzen werden und wieder erstarren. Läßt man Chocolade zergehen und dann in einem zinnenen Gefäße schnell fest werden, so zeigt sie sich stark elektrisch.

Verdampft Wasser von einem isolirten Gefäß, so wird dieses negativ elektrisch.

Sehr wahrscheinlich ist ferner die Lichtentwicklung, die in manchen Fällen bei der Veränderung von Körpern Statt hat (§. 203), eine elektrische Erscheinung.

In der neuesten Zeit endlich, wo man Mittel gefunden hat, auch die geringsten Spuren von Elektrizität zu entdecken, hat man erkannt, daß sowohl die Berührung zweier Körper, als die chemische Einwirkung zweier Substanzen auf einander häufig von einer elektrischen Veränderung begleitet ist. Es ist daher nicht zu bezweifeln, daß die Elektrizität eine wichtige Rolle in der Natur spielt. Die Beobachtung jener feinen elektrischen Prozesse kann jedoch nur Sache des geübten Physikers seyn.

---

*) Den Condensator und mehrere andere Vorrichtungen glauben wir in diesen Elementen übergehen zu sollen.

Einwirkung auf die organischen Körper.

§. 243. Daß die Elektrizität auf die Verrichtungen der organischen Körper Einfluß habe, ist ziemlich wahrscheinlich; worin derselbe aber bestehe, noch nicht ausgemacht.

Manche Physiker wollen gefunden haben, daß Samen schneller keimen und Pflanzen schneller wachsen, wenn sie öfters elektrisirt werden; andere konnten aber diese Wirkungen nicht wahrnehmen.

Ebenso fanden Einige, daß die Elektrizität den Puls und den Blutumlauf beschleunige und die Ausdünstung bethätige; andere konnten aber auch diese Wirkungen nicht beobachten.

Daß die elektrische Materie in hohem Grade unsere Nerven reizt, beweist genugsam die Wirkung der Leydnerflasche. Die Muskeln des stärksten Mannes zucken unwillkürlich zusammen, wenn der Funken durch seinen Körper geht. Man sollte daher glauben, daß die Elektrizität sehr oft als ein kräftiges Heilmittel anzuwenden sey, und in der That beweisen viele Erfahrungen, daß sie in mehreren Krankheitszuständen, bei Lähmungen, Harthörigkeit u. s. w. gute Dienste leisten kann. Sehr häufig wurde sie jedoch unter scheinbar gleichen Umständen ohne allen Erfolg versucht, und daher machen die Aerzte von diesem Reizmittel noch wenig Gebrauch.

Elektrizität des Luftkreises (elektrische Meteore).

§. 244. Unter den Meteoren versteht man die mannichfaltigen Erscheinungen und Veränderungen, die sich in der Atmosphäre zutragen, und derjenige Theil der Physik, der insbesondere von diesen Phänomenen handelt, heißt daher die Meteorologie.

Unstreitig sind mehrere dieser Meteore elektrischer Art. Seitdem man weiß, daß der Blitz nichts anders als ein großer elektrischer Funke ist, muß man namentlich die Erscheinungen des Gewitters hauptsächlich der Elektrizität zuschreiben.

Daß Luftschichten und Wolken oft elektrisch sind, läßt sich aber noch aus andern Erscheinungen wahrnehmen. Deutlich ist oft die Elektrizität derselben an Elektrometern zu erkennen. Ist ein solcher mit einer Spitze versehen, und dieser einer Gewitterwolke zugekehrt, so gehen die Metallblättchen gerade so auseinander, als wenn man ihn einem geladenen Conduktor nähert. Auf gleich Weise bringt eine Wolke oft das Läuten eines elektrischen Glockenspiels hervor. (256) Zuweilen sieht man auch an hervorragenden Spitzen, die einer Gewitterwolke entgegengekehrt sind, an Thurmspitzen, Masten, hohen Stangen, Bajonetten 2c. im Dunkeln einen lichten Stern, gerade so wie an Nadelspitzen, die man gegen einen positiv elektrischen Conduktor hält. (234) Die Seefahrer nennen diese gar nicht ungewöhnliche Lichterscheinung an den Masten das S. Elmsfeuer. Ohne Zweifel ist die Ursache in allen diesen Fällen dieselbe; die Elektrizität der Wolken bewirkt in den auf der Erde befindlichen Körpern eine Vertheilung der elektrischen Materie, und daß sie in so großer Entfernung oft diese Wirkung hervorzubringen vermögen, beweist nur, daß sie ausnehmend viel Elektrizität enthalten müssen. Vielleicht ist auch die Unbehaglichkeit, die Manche, wenn ein Gewitter sich vorbereitet, fühlen, eine Wirkung der Luftelektrizität.

So schwer es auch ist, alle Erscheinungen bei einem Gewitter genügend zu erklären, so ist doch leicht begreiflich, wie Luftmassen elektrisch werden können. Da man nämlich weiß, daß die Verdünstung Elektrizität erzeugt, daß das Gefäß, auf dem Wasser verdunstet, negativ elektrisch wird, und das verdunstende also + E enthalten muß, so müssen unstreitig die von der Erde, zumal bei warmer Witterung, aufsteigenden Dünste, eine große Masse Elektrizität den obern Luftschichten zuführen. Auch zeigen die Gewitterwolken gewöhnlich + E.

Ohne Zweifel muß aber in der Atmosphäre selbst oft Elektrizität frei werden, indem die aufgelösten Dünste bald zu Nebel und Wolken verdichtet, bald umgekehrt diese wieder aufgelöst und durchsichtig werden.

Da ferner trockene Luft ein schlechter Leiter ist, so wird begreiflich, daß in einzelnen Luftschichten oder Wolken die Elektrizität

sich ansammeln kann; und ebenso, daß eine in der Luft schwebende elektrische Wolke, so weit ihr Wirkungskreis reicht, sowohl in andern Wolken als in Gegenständen auf der Erde eine Vertheilung der Elektrizität erregen, und auch wohl sich diesen nähern wird.

Sowie endlich die elektrische Wolke einer andern oder der Erde nahe genug kommt, so wird ein plötzlicher Uebergang der elektrischen Materie oder eine Entladung erfolgen müssen.

§. 245. Daß wirklich der Blitz nichts anders als eine solche elektrische Entladung sey oder ein großer elektrischer Funken, kann Niemand bezweifeln. Auch ist er in allen Beziehungen denjenigen ähnlich, die wir aus einem Conduktor oder der Leydner Flasche erhalten. Er erscheint als langer Strahl, weil die elektrische Materie mit ungeheurer Geschwindigkeit sich bewegt. Auch die künstlichen Funken sind oft zackicht und zertheilen sich zuweilen in mehrere Strahlen. Natürlich trifft der Blitz vorzugsweise die höchsten Gegenstände, und folgt, wie der gewöhnliche Funke, leitenden Substanzen, bis sich die elektrische Materie in der Erde und dann spurlos verliert.

Die Wirkung des Blitzes ist nach den Umständen sehr verschieden. Manche Blitze setzen Gebäude, in die sie schlagen, sogleich in Brand, andere zünden nicht. Es hängt dies theils von der Stärke des Blitzes, theils davon ab, ob er sich durch gute Leiter bis zur Erde fortpflanzt, oder ob er brennbare Körper antrifft und diese passiren muß. Oft durchlöchert er Mauern, indem er hindurch schlägt, oft Balken werden u. dgl. zersprengt. Zimmer werden gewöhnlich mit Schwefelgeruch erfüllt, Vergoldungen geschwärzt u. s. w. Menschen und Thiere, die der Blitz trifft, werden oft getödtet oder gelähmt. Nicht selten werden aber bloß einzelne metallische Substanzen, die sie auf sich haben, beschädigt. In der Erde hinterläßt er gewöhnlich keine Spur. Die sogen. Strahlsteine haben nichts mit dem Blitze zu schaffen. Nur wenn er in sandigen Boden schlägt, entstehen zuweilen röhrenförmige Zusammensinterungen, die man mit Recht Blitzröhren nannte.

So wie es indessen oft schwierig ist, die besondern Wirkungen eines Blitzstrahls zu erklären, so ist überhaupt auch schwer, von allen Erscheinungen bei einem Gewitter die Ursache anzugeben.

Es scheint kaum begreiflich, wie schnell oft die ewitterwolken sich bilden und vergrößern, wie anhaltend dieselbe Wolke blitzen kann, wie auch während es regnet die Wolken ihre Elektrizität behalten u. a. m. Wahrscheinlich erregt aber jede Entladung selbst wieder Elektrizität, indem sie eine Verdichtung von Dünsten oder Wolken zur Folge hat.

Eben dieser Verdichtung ist ohne Zweifel die Entstehung des Donners zuzuschreiben, indem leere Räume entstehen, und in diese plötzlich andere Luftmassen dringen. Das sogen. Wetterleuchten rührt hingegen bald von sehr entfernten Blitzen her, deren Donner wir nicht hören können, oder von einem bloß ruhigen Ausströmen der elektrischen Materie aus hohen Wolken, da dünne Luft ein solches begünstigt.

Die Winde und Regengüsse, die gewöhnlich die Gewitter begleiten, und ihre Ausdehnung zeigen genugsam, welche ausserordentliche Veränderungen während derselben die Atmosphäre erleidet. Meist auch sind sie an dem Barometer bemerkbar. Gewitterwolken, die der Erde sehr nahe kommen, haben zuweilen aber noch besondere höchst merkwürdige Wirkungen. Auf einer großen Wasserfläche schwebend, äussern sie gegen das Wasser eine so starke Anziehungskraft, daß sich dieses in Form einer Säule erheben kann. Dieses Schauspiel, das Seefahrern sehr gefährlich werden kann, ist unter dem Namen Wasserhose bekannt. Auch auf dem Lande werden Sandmassen zuweilen auf ähnliche Weise wirbelnd in die Höhe gehoben.

§. 246. Der berühmte Amerikaner Benj. Franklin war der erste, der die elektrische Natur des Blitzes ausser Zweifel sezte, und von dieser ausgehend ein Mittel angab, Gebäude gegen seine verheerenden Wirkungen zu schützen.

Dieses Schutzmittel heißt Blitzableiter, und besteht aus zugespizten Stangen, die auf den hervorragendsten und höchsten Punkten eines Gebäudes angebracht, und durch Metallstreifen oder Stangen mit der Erde in Verbindung gesezt werden. Da der Blitz vorzugsweise in die höchsten Körper schlägt, zumal wenn diese Leiter sind, so wird, wenn eine elektrische Wolke nahe

genug ist, um sich auf ein Gebäude zu entladen, der Strahl ohne Zweifel die aufgesteckte Stange treffen, und die elektr. Materie der Leitung nach in die Erde abfließen. Solche Ableiter können indessen nur dann ein Gebäude sichern, wenn die Ableiterstangen nirgends unterbrochen sind und eine gehörige Dicke oder Stärke haben; ebenso ist es nöthig, auf ausgedehntern Gebäuden mehrere Auffangstangen anzubringen, und gut die Spitzen, damit sie nicht rosten, zu vergolden oder mit Platin zu überziehen. Auf ähnliche Weise kann man Schiffe und hohe Kamine mit Blitzableitern versehen.

Klar ist, daß der Blitzableiter keineswegs den Blitz hindert ein Gebäude zu treffen. Dies lehrt auch die Erfahrung. Er verhütet bloß die zerstörenden Wirkungen. Schlägt der Blitz in ein Haus, das einen Ableiter hat, so spürt man also dennoch die Erschütterung, und bemerkt sogar beim Einschlagen zuweilen ein Lichtausströmen aus allen metallischen Gegenständen. Auch ist begreiflich, daß es gefährlich seyn muß, mit dem Ableiter in Berührung zu seyn.

Gewiß ist aber ferner, daß der Ableiter den Blitz nicht anzieht, so wie er auch aus den Gewitterwolken die Elektrizität nicht einsaugen kann.

Da ohne Zweifel auch bei Hagelwettern die Elektrizität im Spiel ist, so hat man geglaubt, die Entstehung des Hagels durch Aufrichten von hohen Stangen verhüten zu können. Theorie und Erfahrung machen aber die Nützlichkeit dieser Hagelableiter sehr zweifelhaft. Auch sieht man nicht, daß Wälder, Weinberge oder Hopfengärten die Bildung des Hagels (oder der Gewitter) hindern, was beides geschehen müßte, wenn die Elektrizität der Wolken wirksam durch eine Menge spitzer Gegenstände eingesogen würde.

Ehemals meinte man, durch das Läuten großer Glocken Gewitter zerstreuen zu können: jezt ist jeder Vernünftige aber wohl von dessen Unwirksamkeit überzeugt, und daß es nur den Läutenden sehr gefährlich werden kann. Daß nahe elektrische Wolken hingegen durch Abfeuern von Geschütz zuweilen entfernt werden

mögen, ist, da eine beträchtliche Erschütterung der Luft Statt findet, nicht unglaublich.

§. 247. Ein sehr merkwürdiges und wahrscheinlich elektrisches Meteor ist endlich das Nordlicht. Man versteht darunter einen oft sehr glänzenden Lichtschein, den man häufig in sehr nördlich gelegenen Ländern an der Nordseite des Horizonts sieht, und der zur Seltne auch, wenn gleich schwächer, in unsern Gegenden wahrgenommen wird. Ein gleiches Licht sieht man auf der südlichen Seite der Erdkugel und auch da vom Pole her. Man nennt dieses Licht deßhalb auch Polarlicht. Wie dieses Licht entsteht, ist noch nicht zuversichtlich anzugeben; wahrscheinlich rührt es aber von elektrischer Materie her, die sich in den obern und dünnen Luftregionen verbreitet.

Zwölfter Abschnitt.

Vom Galvanismus (Galvanische Elektrizität).

§. 248. Vor etwa 40 Jahren (1791) machte Al. Galvani in Bologna die merkwürdige Entdeckung, daß, wenn ein Muskel und Nerv eines frischgetödteten Frosches, der eine mit einem Zink-, der andere mit einem Kupfer- oder Silberstäbchen berührt werden, jener in lebhafte Zuckungen geräth, so oft die beiden andern Enden der Stäbe in Berührung kommen. Galvani schrieb diese Wirkung einer besondern Art von Elektrizität (einer thierischen) zu, die durch das Metall (den Metallreiz) erregt würde.

Unzählige wiederholten diese Versuche, und änderten sie auf die mannichfaltigste Weise ab. Man fand:

1) Daß auch die Muskeln warmblütiger Thiere nach dem Tode mehr oder weniger diese Reizbarkeit zeigen, und mit jenen Metallen also berührt zucken; daß jedoch die Amphibien und namentlich frische, besonders lang und in hohem Grade diese Eigenschaft haben. *)

2) Daß sehr viele Substanzen, wenn gleich in weit schwächerm Grade, eine ähnliche Wirkung hervorbringen, sobald ihrer zwei verschiedene mit einander in Berührung kommen, und

*) Selbst an enthaupteten Menschen machte man dergleichen Versuche, und der Metallreiz erregte noch eine Zeitlang Zuckungen. An eine Empfindung ist indessen nicht zu denken, denn da die Muskeln des Rumpfes wie die des Kopfes zucken, so müßte man, wenn jeder Theil empfände, eine Halbirung der Seele annehmen. Kann aber der Rumpf, ohne zu empfinden, zucken, so müssen auch die Kopfmuskeln also zucken können. Offenbar ist die Erscheinung eine physikalische, und sie beweist nur, daß mit dem Tode nicht sogleich alle

daß immer diese Berührung die eigentliche Ursache jener Erregung ist.

3) Daß der Eindruck jenes Metallreizes auf die Nerven auch auf andere Weise bemerkbar werde. Hält man ein Zinkstäbchen unter die Zunge und ein Silberstäbchen auf dieselbe, so verspürt man, so oft man die andern Enden in Berührung bringt, einen eigenen sauern Geschmack. Hält man jene Stäbchen an die Augenwinkel, so nimmt man bei ihrer Berührung eine blitzähnliche Lichtempfindung wahr. Ebenso bringen die Stäbe in der Nase ein Krübeln, auf Wunden gehalten, ein merkliches Stechen hervor u. dgl. m.

Man nannte alle diese Erscheinungen, dem Entdecker zu Ehren, galvanische, und die noch unbekannte Kraft, von der sie herrühren, Galvanismus.

Der berühmte Physiker Volta hielt jedoch von Anfang an alle diese Erscheinungen für elektrische, und für Wirkungen einer hier auf eine neue Art, nämlich durch bloße Berührung ungleichartiger Substanzen, erregten Elektrizität. Und die Ansicht bestätigte sich mehr und mehr, nachdem Volta (im J. 1800) einen Apparat erfunden, vermittelst dessen man ungleich größere Wirkungen erhalten kann. So sehr wahrscheinlich indessen Galvanismus und Elektrizität wesentlich dasselbe sind, so sind doch die Wirkungen der durch Berührung erregten Elektrizität in vieler Beziehung auffallend von denen der durch Reiben oder Erwärmung erzeugten, verschieden, und man unterscheidet daher die erstere mit Recht unter dem Namen der galvanischen (oder contakt) Elektrizität, von der zweiten oder gemeinen.

Voltaische Säule.

§. 249. Nachdem Volta die Ueberzeugung gewonnen, daß wenn zwei Metalle, wie z. B. eine Zink- und Kupferplatte, sich berühren, stets Elektrizität erregt, und die eine, hier die Zinkplatte positiv, die andere oder die Kupferplatte negativ elektrisch

Lebenskraft verschwunden ist. Der Metallreiz mag daher auch angewendet werden, um bei einem todten Körper zu erkennen, ob selbst die physische Lebenskraft sich gänzlich verloren hat.

werde, vermuthete er, daß wenn zwei oder mehrere solche Plattenpaare aufeinander gelegt, und durch eine bloß leitende Substanz von einander getrennt würden, ihre elektrische Spannung vervielfältigt und ihre Wirksamkeit verhältnißmäßig verstärkt werden müßte. Und auch diese Ansicht wurde durch die Erfahrung gerechtfertigt.

Legt man (wie Fig. 94 zeigt) runde Zink- und Kupferplatten z und k, von der Größe eines Thalers etwa, paarweise aufeinander, und zwischen jedes Paar eine etwas kleinere, wohl angefeuchtete Papp- oder Tuchscheibe t, so nimmt die elektrische Wirkung, welche die äussersten Platten oder die Endstücke zeigen, beinahe im Verhältniß der Plattenpaare zu. Berührt man nämlich mit zwei Fingern zugleich die unterste und die oberste Platte, so empfindet man eine Erschütterung, die derjenigen sehr ähnlich ist, die man durch eine Leydnerflasche erhält, und sie ist um so beträchtlicher, aus je mehr Lagen die Säule besteht. Hat man eine Säule von z. B. 80 Plattenpaaren, so kann man sich willkührlich schwächere oder stärkere Erschütterungen geben lassen, je nachdem man zwei Paare in kleinerem oder größerem Abstande von einander berührt.

Eine solche Säule heißt eine Voltaische. Gewöhnlich bedient man sich eines Gestells mit drei gläsernen Stäben, um die Metallscheiben, so daß sie nicht umstürzen, aufeinander zu thürmen.

Ohne Zweifel wird die Elektrizität bloß durch den Contakt der ungleichartigen Metalle erregt. Man kann daher die Zink- und Kupferscheiben paarweise aneinander löthen, und es ist dies zugleich vortheilhaft, weil eine Säule dann schneller erbaut, und die Platten nachher leichter gereinigt werden können.

Ohne Zweifel wird ferner die Verstärkung, als Folge ihrer Verbindung, durch das Leitungsvermögen der Papp- oder Tuchscheiben bedingt. Die Wirkung hört auf, wenn diese ganz trocken sind, und ist umgekehrt viel stärker, wenn das Tuch nicht mit reinem Wasser, sondern mit Salzauflösungen befeuchtet wird.

Die elektrische Kraft der Säule ist anhaltend, denn, obgleich bei jeder Berührung eine Art Entladung Statt findet, so muß doch die Berührung sofort wieder eine elektrische Spannung bewirken. Nur die allmählige Oxydation der Metalle durch die Flüssigkeit vermindert nach und nach die Wirksamkeit, weil die Metalle dann nicht mehr vollkommen getrennt bleiben. Daher tritt auch diese Abnahme schneller ein, wenn die Tuchscheiben mit gesäuertem oder salzigem Wasser genezt werden. Ebendaher muß man die Säule, nachdem sie ihre Kraft verloren, zerlegen und die Metallplatten wieder reinigen.

§. 250. Da die Wirkung der Säule auf der Verbindung paarweise sich berührender Zink- und Kupferstücke beruht, vermittelst eines dazu geeigneten Zwischenmittels, so sieht man, daß nicht nur die Form der Platten ziemlich gleichgültig seyn muß, sondern daß dieselbe Verstärkung der galvanischen Elektrizität durch andere nicht säulenförmige Apparate erhältlich seyn muß. Und wirklich sind ihrer mancherlei in Gebrauch gekommen, Becherapparate, Trogapparate u. a. Man nennt sie überhaupt Voltaische Batterien. Die gewöhnliche Säule empfiehlt sich jedoch dem Nichtphysiker immer durch ihre Einfachheit. Man kann ferner dergleichen Apparate auch aus andern Substanzen herstellen, da die Berührung vieler ungleichartiger Materien Elektrizität erregt; die Metalle, und namentlich Zink und Kupfer (oder Silber), haben aber die größte Wirksamkeit. Unentbehrlich als Zwischenmittel sind endlich keineswegs Feuchtigkeiten.

Es ist auch gelungen trockne Säulen herzustellen. Eine solche erhält man z. B., wenn man viele 100 Papierblättchen (in der Form von Oblaten), die auf einer Seite mit einem Gold- oder Silberblatt und auf der andern mit gepulvertem Braunstein belegt sind, aufeinander schichtet. Diese trockenen Säulen haben den Vortheil, da die Materien keine Veränderung erleiden, daß sie ungleich länger, ja viele Jahre lang wirksam bleiben. Die Wirkung ist aber bei allen bis dahin construirten ausnehmend schwach.

Höchst wichtig ist bei der Erbauung jeder Säule, daß die Metallscheiben immer in derselben Ordnung aufeinander gelegt werden, oder daß in jedem Paare die Zinkscheibe entweder unter, oder daß sie in jedem über die Kupferscheibe zu liegen komme; denn nur dann nimmt die elektrische Spannung nach beiden Richtungen der Säule stufenweise sich verstärkend zu, so daß sie stets auf der Zinkseite + E auf der Kupferseite — E, und an beiden Enden die stärkste Wirkung zeigt. Man nennt gewöhnlich die beiden Enden die Pole, und zwar das Zinkende den positiven, und das Kupferende den negativen Pol der Säule.

Auch läßt sich nun vermittelst eines Elektrometers sehr leicht wahrnehmen, daß wirklich die Zinkplatten positiv und die Kupferplatten negativ elektrisch sind.

§. 251. Ueberhaupt lassen sich mit Hülfe der Säule nun alle Erscheinungen der Elektrizität darthun, die der Anziehung und Abstoßung, die Lichtphänomene, die chemischen Wirkungen der Elektrizität und ihre Wirkung auf die Nerven; es bleibt also kaum zweifelhaft, daß alle galvanischen Erscheinungen Wirkungen der Elektrizität sind.

In sehr ungleichem Verhältniß äussert aber die Säule diese verschiedenen Wirkungen. Die rein physikalischen (die der Attraktion und des Lichtes) bleiben immer sehr schwach; ungleich bedeutender sind hingegen die chemischen und die Wirkung auf die Nerven.

Sebst bei trockenen Säulen ist zwar die Attraktionskraft bemerkbar, und man hat sie benuzt, um eine Art von Perpetuum mobile herzustellen. Bringt man zwischen zwei solche Säulen A und B (Fig. 95), die verkehrt stehen, eine leichte um c schwingende Balancirstange ab an, so werden beide Enden wechselsweise von den + und — Polen der Säulen angezogen, und ab daher wohl Jahre lang pendelartig hin- und herschwingen.

Verbindet man beide Pole einer Säule, indem man an den + Pol z. B. einen Draht befestigt, und mit dem andern Ende des Drahts den — Pol berührt, so zeigen sich kleine Funken; al-

lein auch bei sehr großen Säulen sind diese Funken kaum wahrnehmbar.

Die Säule hat hingegen in auffallendem Grade das Vermögen, allerlei Substanzen glühend zu machen und wohl gar zu verbrennen. Befestigt man an das Drahtende ein Goldblättchen, so wird dieses bei der Berührung des Pols schnell verzehrt, und die lebhaften Fünkchen rühren dann von dieser Combustion her. Zollange Platindrähte werden glühend und eine Menge Substanzen lassen sich verbrennen. Schon diese, doch noch unzählige andere Erscheinungen, erweisen also eine wunderbare chemische Wirksamkeit der galvanischen Elektrizität.

Bringt man an beide Pole einer Säule zwei Drähte (am besten Platindrähte) a und b (Fig. 96) und nähert man die andern Enden einander in einer kleinen Röhre c, die Wasser enthält, so wird dieses in seine Elemente zersezt, und am einen Drahtende entwickeln sich Sauerstoff-, am andern Wasserstoffbläschen. Auf diese Weise ist es gelungen, Substanzen (wie Alkalien, Erden u. a.) zu zersetzen, bevor dies auf irgend eine andere Art möglich war. Es scheint also beinahe, als wenn bei der durch den Contakt erzeugten Elektrizität die mechanische Attraktionskraft sich in die chemische verwandle, und daß vielleicht überhaupt wohl die chemischen Veränderungen durch Elektrizität hervorgerufen seyn mögen, die durch die Berührung verschiedenartiger Atome erregt wird. Neuere Chemiker haben auf diese Wechselwirkung eine eigene Theorie der Chemie gegründet, die sie die elektrochemische nennen. Hier genügt, auf den vielfachen Einfluß der Contaktelektrizität auf die chemische Thätigkeit aufmerksam gemacht zu haben.

§. 252. Ebenso ausgezeichnet sind die Wirkungen der Säule auf die Nerven. Schon bei 60 oder 80 Plattenpaaren können die Erschütterungen sehr heftig, und bei noch viel größern Säulen oft nicht auszuhalten seyn. Auch die größten Säulen, die man bis jezt construirt (von 2000 Paaren), gaben jedoch keinen Schlag, der Thiere zu tödten vermochte. Läßt man den Schlag durch mehrere sich die Hände gebende Personen gehen, so wird er gewöhnlich nur von der äussersten empfunden. Ueberhaupt ist diese

Empfindung von der, die ein Flaschenfunken bewirkt, merklich verschieden. Auch hängt die Stärke gar sehr von der Leitung ab. Berührt man beide Pole mit trocknen Fingern, so fühlt man beinahe gar nichts; sind die Finger benezt, und namentlich mit Salzwasser, so ist die Wirkung weit stärker, und noch stärker, wenn man mittelst Dråhten die Pole berührt, oder gar, wenn man die Hände in zwei Gefäße mit Wasser taucht, die durch Dråhte mit beiden Polen in A Bindung sind.

Man erhält ferner eben so oft einen neuen Schlag, als man die Verbindung unterbricht, oder die Säule frischerdings berührt. Bleibt man in fortdauernder Verbindung, so spürt man keine wiederholten Erschütterungen, bald aber eine stechende Empfindung, und eine Wärme, die zulezt schmerzhaft wird.

Sehr merkwürdig ist endlich, daß die Wirkungen auf die Nerven sich (bei sonst gleichen Umständen) beinahe nur nach der Anzahl der Plattenpaare richtet, und daß die Größe der Platten keinen Einfluß hat; daß hingegen die chemischen Wirkungen (und das Combustionsvermögen) hauptsächlich von der Größe der Platten abhängen.

Auch die galvanische Elektrizität hat man öfters, und nicht ohne Erfolg, als Heilmittel angewandt; noch hat jedoch die Erfahrung nicht gelehrt, in welchen Fällen mit einiger Zuverläßigkeit davon Gebrauch gemacht werden mag. Ebenso hat der Galvanismus, obschon durch denselben ein neues und sehr interessantes Gebiet von Naturerscheinungen eröffnet wurde, bis dahin noch wenig technische Anwendbarkeit gezeigt. Bemerkenswerth ist das von Davy angegebene Verfahren, die kupferne Belegung der Schiffe dadurch vor dem Zerfressen, oder gar gegen das Ansetzen von Seegewürmen zu schützen, daß sie stellenweise mit Stücken von Zink oder Eisen in Berührung gebracht wird. Die schützende Kraft dieser Vorrichtung beruht auf der galvanischen Thätigkeit dieser beiden Metalle.

Dreizehnter Abschnitt.

Vom Magnetismus oder den magnetischen Erscheinungen.

---

§. 253. Unter dem Magnetismus verstehen wir die Ursache gewisser eigenthümlicher Erscheinungen, die das Eisen zuweilen darbietet. Diese Erscheinungen bestehen namentlich darin, daß solches Eisen gegen andres Eisen, und zwar nur gegen dieses Metall, eine auffallende Anziehungskraft äussert, daß es in diesem ähnliche Eigenschaften erzeugen kann, und daß solches Eisen, wenn es sich leicht um seinen Schwerpunkt bewegen kann, stets eine bestimmte Stellung gegen die Weltgegenden anzunehmen trachtet.

Man nennt ein Stück Eisen, das in bedeutendem Grade diese Eigenschaften besizt, einen Magneten, und diese Eigenschaften magnetische. Man findet Eisenerze, wovon einzelne Stücke wenigstens stark magnetisch sind; diese heißen natürliche Magnete: da man aber jedes Stück Eisen oder Stahl, und namentlich vermittelst eines bereits vorhandenen Magnets, magnetisch machen kann, und zwar ohne daß jener von seiner Kraft verliert, so kann man sich auch künstliche verschaffen, und gewöhnlich bedient man sich auch solcher.

Die magnetischen Eigenschaften kommen zwar nach neuern Untersuchungen nicht ganz ausschließlich dem Eisen zu. Auch das Kobalt- und Nickelmetall können magnetisch werden. Der Magnet wirkt übrigens nur wenig auf oxydirtes Eisen, und auf stark oxydirtes gar nicht. Hingegen scheint die schwache Einwirkung des Magnetismus auf alle andere Körper, die etwa bemerkt worden, bloß eingemengten Eisentheilen zuzuschreiben zu seyn.

Pole des Magneten.

§. 254. Bestreut man einen magnetischen Eisenstein oder natürlichen Magneten mit reiner Eisenfeile, so wird sich diese hauptsächlich an zwei einander gegenüber liegenden Stellen anlegen oder ansetzen; und hängt man den Magneten an einem Faden auf, so wird er sich so drehen, daß jene Stellen stets dieselbe Richtung gegen Norden oder Süden erhalten. Diese beiden Punkte heißt man die Pole des Magneten, und zwar den nach Norden sich kehrenden den Nordpol, den andern den Südpol.

Ebenso verhält es sich mit einem künstlichen Magneten. Ein magnetischer Stab, in seiner Mitte aufgehängt, nimmt eine bestimmte Stellung gegen Norden an, und in Eisenfeile gelegt, wird diese vornehmlich von den beiden Enden angezogen.

Größter Effekt eines Magneten.

Den größten Effekt erhält man, wenn die Anziehungskraft beider Pole zugleich auf ein Stück Eisen wirken kann. Man gibt daher künstlichen Magnetstäben gewöhnlich die Form eines Hufeisens (Fig. 97), so daß die Enden oder Pole n und s in Einer Linie liegen, und bringt mit denselben einen eisernen Stab oder Anker a in Berührung, an den man Gewicht p anhängen kann.

Ebenso erhält man den größten Effekt eines natürlichen Magnets, wenn man ihn an den Polen n und o (Fig. 98) abschleift, sie mit Eisenblech belegt, und den Füßen b und c einen ähnlichen Anker a zu tragen gibt.

Die Tragkraft der Magnete ist bei gleicher Größe sehr ungleich. Es gibt natürliche Magnete, die das 20 und mehrfache ihres Gewichts tragen; auch künstliche tragen oft das 10 und mehrfache. Auch ist die Tragkraft sehr veränderlich. Die Erfahrung lehrt, daß sie sich am besten erhält, wenn der Magnet fortdauernd ein seiner Kraft angemessenes Gewicht zu tragen hat oder beschäftigt ist; und daß sie sich allmählig erhöhen läßt, wenn

das Gewicht stufenweise vermehrt wird. Daß umgekehrt hingegen jenes Vermögen schwächer wird, wenn man ihn unbeschäftigt läßt. Ausserdem geht der Magnetismus leicht verloren, wenn der Magnet rostet, wenn man ihn hämmert oder erschüttert, wenn er stark erhizt wird u. dgl.

Wirkungen in die Ferne und durch andere Körper.

§. 255. Bei unmittelbarer Berührung äussert der Magnet die größte Anziehungskraft. Er wirkt aber auch bis auf eine gewisse Entfernung, nur nimmt die Kraft im quadratischen Verhältniß der Distanz ab. Bei 3'' Entfernung ist die Anziehung 9mal schwächer als bei 1'' Entfernung.

Die Luft hindert hiemit nicht die Anziehung. Ebenso wirkt sie durch andere Substanzen, sowie im leeren Raume. Trennt man eine Nadel oder Eisenfeile durch Papier, Holz, Glas, Stein, Messing oder andere Substanzen von dem Magneten, so äussert er dieselbe Attraktion, wofern der Körper nicht zu dick ist. Eisen nur verändert die Wirkung.

Diese Eigenschaft des Magneten, durch allerlei auch undurchsichtige Substanzen hindurch zu wirken, benuzt man, um eine Menge oft geheimnißvoller Erscheinungen (oder magnetischer Kunststücke) hervorzubringen.

Nähere Betrachtung der Attraktionsphänomene.

§. 256. Der Magnet zieht nicht bloß das Eisen an, sondern er wird auch von ihm angezogen. Die Anziehung ist gegenseitig. Nähert man z. B. einer an einem Faden hängenden Magnetnadel einen eisernen Schlüssel, so bewegt sich die Nadel gegen den Schlüssel.

Ferner wirken immer beide Pole zugleich, und der Effekt ist nur im Verhältniß ihrer Entfernung verschieden.

Bringt man eine Nadel a (Fig. 99) in die Nähe eines Magneten m, so daß beide Enden gleich weit von den beiden Polen

n und s entfernt sind, so nimmt die Nadel eine mit dem Stabe m parallele Lage an. Die Nadeln b und c hingegen, die dem einen Pole näher sind, nehmen eine geneigte Stellung an; und Nadeln wie d und e stellen sich senkrecht gegen die Pole.

Man kann daher mittelst eines kleinen Drahtstückchens, das man auf einem natürlichen Magnete hin- und herschiebt, leicht die Polstellen entdecken. Sie liegen da, wo der Draht sich senkrecht aufrichtet.

Ebenso erklärt sich daraus, warum sich die auf ein Papier gestreute Eisenfeile in lauter länglich runde Linien ordnet, wenn beide Pole eines Magneten unter das Papier gehalten werden.

Gegenseitige Wirkung zweier Magnete.

§. 257. Nähert man einen Magneten einer aufgehängten (oder auf einer Flüssigkeit schwimmenden) Nadel, so wird jedes Ende der Nadel vom Magnete angezogen, welchen Pol man annähert.

Ist die Nadel selbst aber magnetisch, oder nähert man einen Magneten einem andern aufgehängten Magnetstabe, so ergibt sich nur dann eine Anziehung, wenn die ungleichnamigen Pole (die man daher auch freundschaftliche nennt) einander genähert werden. Nähert man die gleichnamigen (oder feindschaftlichen), so erzeigt sich im Gegentheil eine Abstoßung.

Mittheilung der magnetischen Kraft.

§. 258. Bei genauer Beobachtung obiger Phänomene wird man bald gewahr, daß, so oft ein Magnet Eisen anzieht, dieses im Grunde augenblicklich wenigstens selbst magnetisch wird, und zwar so, daß das dem Magnete zugekehrte Ende des Eisens die entgegengesezte Polarität erhält.

Ist z. B. n der Nordpol eines Magnets (Fig. 100) und s n eine davon angezogene Nadel, so wird diese selbst magnetisch, und bei s ist ihr Südpol, und bei n ihr Nordpol.

Daher kann man denn auch bei n eine zweite, und an diese wohl noch eine dritte oder mehrere Nadeln anhängen. Der Magnet würde, als zu weit entfernt, die lezten Nadeln nicht anziehen können; er trägt sie in diesem Falle aber, weil die dazwischen liegenden Nadeln selbst Magnete werden.

Dasselbe sieht man, wenn Eisenfeile sich anhängt; offenbar ziehen die einzelnen Theile sich untereinander an; und so entsteht der dicke Bart an den Polen.

Gewöhnlich wird ein Stück Eisen durch die bloße Annäherung an einen Magneten nur schwach, und bloß augenblicklich magnetisch; es sey denn, daß der Magnet, mit dem es in Berührung kommt, besonders stark ist. Stahl wird in der Regel nicht so leicht magnetisirt als Eisen, behält aber die einmal erhaltene magnetische Kraft länger, besonders wenn er gehärtet ist. Bringt man daher Stahlstäbe in die Nähe sehr starker Magnete (sogen. magnetischer Magazine), so kann man sie auf diese Weise schon in Magnete verwandeln; und die Kraft eines großen Magnets ist sogar stark genug, um die Pole eines kleinen Magnets, wenn seine gleichnamigen Pole mit jenen eine Zeit lang in Berührung sind, umzukehren.

Allein auch mit einem mäßig starken Magnete kann man in einer Stahlstange dauerhaften Magnetismus erregen, oder sie in einen künstlichen Magneten verwandeln, wenn man den stählernen Stab zu wiederholten Malen mit den Polen des Magnets bestreicht, und zwar so, daß jeder Pol vorzugsweise gegen das eine Ende des Stabes geführt wird.

Hat man z. B. einen hufeisenförmigen Magnet, so setze man denselben auf der Mitte des Stabes auf, reibe ihn dann darauf, indem man ihn regelmäßig bis zu beiden Enden hin und her rückt, und entferne ihn wieder von der Mitte. Das Ende des Stabes, dem der Nordpol des Magnets stets am nächsten kommt, wird dann der Südpol des Stabes, und das andere der Nordpol.

Auf diese oder andere Weise kann man mit demselben Magnete eine beliebige Menge von Stäben ꝛc. magnetisch machen, indem der Magnet wenig oder nichts von seiner Kraft dadurch verliert. Es hat also auch wirklich keine eigentliche Mittheilung von Magnetismus Statt, sondern eine Erzeugung oder Erregung von magnetischer Kraft in dem Stahle.

Theorie.

§. 259. Die magnetischen Erscheinungen haben offenbar viele Analogie oder Aehnlichkeit mit den elektrischen. Es gibt zweierlei Magnetismus, und diese stoßen sich ab, wie die entgegengesezten Elektrizitäten. Ein Magnet zieht das nicht magnetische Eisen an und erregt, wie durch Vertheilung, in diesem Magnetismus. In manchen Punkten zeigt sich aber eine sehr wesentliche Verschiedenheit. Kein Körper zeigt je nur Eine Art von Magnetismus; der Magnetismus läßt sich nicht mittheilen; es ist ferner fast ausschließlich nur das Eisen dafür empfänglich; er wirkt durch andere Substanzen frei hindurch, als wenn sie nicht da wären, und ist endlich bloß durch jene Attraktionserscheinungen wahrnehmbar, ohne sonst auf unsere Nerven merklich zu wirken.

Es ist daher kein Zweifel, daß die magnetischen Erscheinungen nicht der Elektrizität, sondern einer besondern Kraft zuzuschreiben sind; wahrscheinlich aber, daß sie von einem ähnlichen feinen Fluidum herrühren.

Man nimmt demnach an, daß es eine (entweder einfache oder doppelartige) magnetische Materie gebe, die nicht wie die elektrische in allen Körpern, sondern bloß in dem Eisen vorhanden ist; daß das Eisen nicht magnetisch sich zeigt, wenn sich jene Materie in neutralem Zustande, oder in dem des Gleichgewichtes darin findet, und daß die magnetische Kraft sich äussert, so oft beide Materien getrennt sind, oder das Gleichgewicht gestört ist. Man nennt die eine Art des Magnetismus (oder den Zustand des Ueberflusses) den positiven oder $+$m, und die andere (oder den Zustand des Mangels) den negativen oder $-$ m.

Nimmt man eine einfache magnetische Materie an, so stellt man sich vor, ein Stab werde dadurch magnetisch, daß die darin vorhandene magnetische Materie ungleich in demselben vertheilt, und nach einer Richtung angehäuft, nach der entgegengesezten weggezogen wird.

Nimmt man zweierlei Materie an, so denkt man sich, alles Eisen besitze ein gewisses Quantum von beiden, und so verbunden, daß sich die Wirkungen aufheben oder neutralisiren, und das Magnetischwerden besteht dann in einer Trennung dieser beiden Materien in demselben Stücke.

Ein nicht magnetischer Stab z. B. enthält + m und — m, aber zu o m verbunden. Kommt er in die Nähe eines Magneten, so zieht der + Pol desselben das — m des Stabes an, und trennt dieses von dem + m; der Stab erscheint daher magnetisch, und auch er wirkt nun auf anderes Eisen. Es hat also eine Vertheilung Statt, gerade so, wie wenn ein Körper in die Atmosphäre eines elektrisirten kommt.

Bemerkenswerth ist aber: 1) daß zumal, wenn der Stab durch wiederholtes Bestreichen magnetisirt wird, derselbe magnetisch bleibt, und daß also die beiderlei magnetischen Materien, die getrennt wurden, getrennt bleiben, und 2) daß, wenn man einen magnetischen Stab oder Draht in zwei oder mehrere Stücke zertheilt, jedes Stück einen + und — Pol zeigt, und daß also jene Vertheilung nicht darin besteht, daß die eine Hälfte bloß + m, die andere nur — m enthalte.

Die neutrale magnetische Materie muß hiemit auf eine ähnliche Weise in allen Fällen getrennt werden, wie die elektrische bei der Erwärmung gewisser Steine, z. B. des Turmalins. Erwärmt man eine Turmalinnadel, so bleibt nicht nur das eine Ende positiv, das andere negativ elektrisch, so lange wenigstens die Nadel warm ist, sondern auch hier zeigen, wenn man sie in zwei oder mehrere Stücke zerbricht, alle Stücke beide Pole.

Richtung des Magnets gegen die Weltgegenden.

§. 260. Zu den merkwürdigsten und eigenthümlichsten Eigenschaften des Magnets gehört die, daß derselbe stets eine bestimmte Richtung gegen die Erdpole anzunehmen sucht. Hängt man eine Magnetnadel so auf, daß sie sich ungehindert um ihren Schwerpunkt drehen kann, so schwankt dieselbe so lange, bis der Nordpol der Nadel mehr oder weniger dem Nordpol der Erde zugekehrt ist. Man sagt daher, die Magnetnadel zeige immer gegen Norden; und sie kann demnach dienen, um die Weltgegenden zu bestimmen.

Um so wichtiger war, diese Erscheinung genauer zu beobachten, und diese Beobachtung lehrte Folgendes:

1) Nur an wenigen Orten zeigt die Magnetnadel genau nach Norden, so daß ihre Richtung die des Meridians ist.

2) Ihre Richtung macht mit der des Meridians gewöhnlich einen mehr oder weniger großen Winkel; dieser Winkel heißt die Abweichung (oder Declination), und sie ist bald östlich, bald westlich.

3) Diese Abweichung ist an einem und demselben Orte nicht immer dieselbe, sondern im Laufe von vielen Jahren sehr veränderlich.

Im Jahr 1666 war die Abweichung zu Paris = 0. Von da an zeigte sich eine bis jezt immer zunehmende westliche Abweichung. Im Jahr 1700 war sie = $8\frac{1}{5}^0$, 1720 = 13^0, 1760 = 18^0, 1802 = 22^0. Zu London war die Abweichung im Jahr 1622 = 6^0 östlich, und 1692 = 6^0 westlich; und 1802 = 24^0 westlich.

Compaß.

§. 261. Häufig bedient man sich einer Magnetnadel, um mit Hülfe derselben die Weltgegenden zu bestimmen, einen Meridian zu ziehen, oder sich zu orientiren, und in manchen Fällen, besonders zur See, ist sie nicht nur das bequemste, sondern das einzige Mittel. Man schließt eine solche Nadel dann in einer

kreisrunden Büchse ein, deren Umfang in Grade oder in 8, 16, 24 oder 32 Theile eingetheilt ist. Eine solche Vorrichtung heißt ein Compaß oder eine Boussole. Um indessen aus der Richtung der Magnetnadel oder dem magnetischen Meridian den wirklichen bestimmen zu können, muß man, wie leicht zu erachten, genau die Abweichung der Nadel kennen und dieser Rechnung tragen. Seefahrer haben daher Charten, auf denen, so viel möglich, die dermalige Abweichung für alle Gegenden verzeichnet ist; ausserdem aber ist immer nöthig, daß sie von Zeit aus andern Beobachtungen den wahren Meridian und darnach die Abweichung der Nadel zu bestimmen suchen.

Von der Inklination.

Hängt man eine lange Nadel genau in ihrem Schwerpunkte auf, so daß sie in der Ruhe eine horizontale Lage annimmt, so bleibt sie nicht mehr horizontal, wenn sie magnetisirt wird; die eine Seite neigt sich, und oft sehr beträchtlich. Auch die Neigung oder Inklination der Magnetnadel ist an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten sehr ungleich.

Da beim Gebrauche des Compasses die Wirkung der Neigung hinderlich ist, so beschwert man die entgegengesezte Seite der Nadel, so daß sie dennoch wagerecht bleibt; und man bedient sich daher besonderer Nadeln (sogen. Inklinationsnadeln), wenn man den Grad der Neigung beobachten will.

Ursache dieser Erscheinungen.

§. 262. Daß die Pole des Magneten stets eine bestimmte Lage gegen die der Erde anzunehmen suchen, kann man sich nicht wohl anders erklären, als daß in der Erde entweder eine große Magnetische Masse vorhanden sey, oder aber, daß sie selbst wie ein Magnet wirke. Nimmt man an, daß das — m des Erdmagneten gegen Norden, das + m gegen Süden liege, so ist begreiflich, daß das + m jedes Magneten von Norden und das — m von Süden her angezogen würde, und ebenso die eine oder

andere Seite sich neigen mag. Die allmähligen Aenderungen der Deklination und Inklination müßten dann einer sich ändernden Lage der magnetischen Pole der Erde zugeschrieben werden. Hier kann indessen von den Bemühungen der Physiker, die Lage jener Pole und das Gesetz der allmähligen Verrückung derselben aufzufinden, nicht die Rede seyn.

Einfluß anderer Kräfte auf den Magnetismus.

§. 263. Sorgfältige Beobachtungen lassen an der Magnetnadel sehr kleine Schwankungen wahrnehmen; die Abweichung ist nach den Jahrszeiten und nach den Tagszeiten sogar nicht ganz dieselbe. Auch haben Gewitter, Erdbeben, und namentlich Nordlichter, öfters einigen Einfluß auf die Magnetnadel.

Ohne Zweifel hat insbesondere die Elektrizität eine Einwirkung auf den Magnetismus. Man hatte schon früher bemerkt, daß Eisenstangen, in die der Blitz schlug, dadurch magnetisch wurden. Mit Hülfe der galvanischen Säule läßt sich nun dieser Einfluß noch deutlicher nachweisen.

Die magnetische Kraft kann ferner auch durch Hämmern rc. bisweilen in einer eisernen Stange erregt werden, besonders wenn sie zugleich nach der Richtung des magnetischen Meridians gestellt ist. Nicht selten bemerkt man auch, daß Bohrer, Feilen u. dgl., wenn man damit Eisen bearbeitet, etwas magnetisch werden.

Umgekehrt verlieren Magnete leicht ihre Kraft, wenn sie stark erhizt oder gehämmert werden. Jede starke Erschütterung schon vermindert dieselbe.

Anwendungen.

§. 264. Der Kompaß ist bis jezt noch fast die einzige nützliche Anwendung des Magnets. Die Erfindung dieses für die Schifffahrt besonders so sehr wichtigen Instruments schreibt man gewöhnlich einem Italiener Fl. Gioia (im Anfange des 14ten

Jahrhunderts) zu; wahrscheinlich kannten die Chinesen den Gebrauch der Magnetnadel aber schon viel früher.

Bekanntlich kann der Magnet zu allerlei, oft wunderbar scheinenden Kunststücken benuzt werden; obschon an gar manchen, die der Taschenspieler durch den Magnetismus zu bewirken oft vorgibt, der Magnet völlig unschuldig ist.

Ob und welche Wirkung der Magnet auf den menschlichen Körper und die Nerven hat, ist noch nicht ganz entschieden, gewiß jedoch, daß die noch räthselhaften Phänomene, die man unter dem Namen des thierischen Magnetismus begreift, und bei denen das Wahre von dem, was Betrug oder Täuschung behauptet, noch lange nicht geschieden ist, nichts mit dem eigentlichen Magnetismus zu schaffen haben.

In den technischen Gewerben hat der Magnet noch beinahe gar keine Anwendung gefunden; obschon man ihn z. B. brauchen kann, um Eisentheile aus einem pulverigen Gemenge herauszuziehen (Eisenspäne z. B. von Messingspänen zu sondern). Ebenso hat man in neuerer Zeit verschiedene magnetische Apparate angegeben, um Nadelschleifer gegen den überaus schädlichen Eisenstaub zu schützen. Ein Magnet kann endlich dienen, um etwa Spuren von Eisen zu entdecken, sowie dem Mineralogen, um gewisse Eisenerze zu unterscheiden.

Zweite Abtheilung.

Spezielle Physik in industrieller Beziehung.

Erster Abschnitt.

Von einigen allgemeinen Eigenschaften der Körper in industrieller Beziehung.

1) Einfluß der Porosität.

§. 265. Unter porösen Körpern verstehen wir besonders solche, die mit einer Menge größerer oder kleinerer, nicht mit der Materie des Körpers erfüllter Zwischenräume versehen sind. (§§. 10. 11.)

Diese Beschaffenheit hat auf die technische Brauchbarkeit der Körper einen vielfachen Einfluß. Oft ist die Porosität unsern Zwecken förderlich und wir suchen sie zu vermehren, oft trachten wir umgekehrt, sie aufzuheben.

Die Porosität bewirkt, daß ein Körper spezifisch leichter wird, daß er leicht allerlei Flüssigkeiten durchdringen läßt, daß er keine spiegelglatte Oberfläche erlangen kann u. a. m.

Von ausgezeichneter Porosität ist der gemeine Schwamm. Dadurch wird er fähig, viel Wasser einzuschlucken, und geeignet, mittelst desselben andere Körper zu netzen, oder umgekehrt ihnen Wasser zu entziehen. Zu diesem Ende gebraucht ihn u. a. der Töpfer, wenn er die Wässerigkeit aus Gefäßen entfernen soll, die er nicht umstürzen kann.

Nützlich ist in vielen Fällen die Porosität des Papiers. Ein sehr poröses ist zum Filtriren nöthig. *) Poröses nimmt

*) Tücher dienen, weil sie porös sind, zum Durchseihen im Großen, z. B. des Syrups, der Laugen ꝛc. Oft wendet man Stroh, Baumwolle u. dgl. an.

die Druckfarben leichter an. Soll es aber zum Schreiben dienen, so müssen die Poren, weil sie ein Ausfließen der Dinte veranlassen würden, verstopft werden. Dies geschieht durch das Leimen.

Holz, und zumal weiches, ist ziemlich porös. Es nimmt daher keine gute Politur an, und alle Flüssigkeiten dringen leicht ein. Wir bemalen oder firnisiren es deßhalb oft, und nicht allein damit es ein glänzenderes Aussehen erlange, sondern damit es keine Feuchtigkeiten einsaugen kann. *)

In England werden fast alle Wagen und Ackergeräthschaften bemalt, weil sie weit länger dann dauern. Maschinen und Gußmodelle firnisirt man gern, damit sie sich weniger verziehen.

Korkstöpsel werden, um sie dichter zu machen, zuweilen in flüssigem Wachs getränkt.

§. 266. Ungleich ist die Porosität des Erdreichs. Sehr groß ist die des Sandes. Sand ꝛc. dient daher in Filtrirapparaten zur Reinigung des Wassers ꝛc. Bei Kanälen ꝛc. ist hingegen jene Beschaffenheit sehr nachtheilig; und man wendet daher, wo das Durchsickern gehindert werden soll, Lettschichten an, weil solche nur ein gewisses Quantum Wasser aufnehmen, und dann dasselbe nicht mehr leicht durchdringen lassen.

Auf die Porosität des Stockzuckers gründet sich ein Reinigungsverfahren, das Decken. Sind die Hüte a (Fig. 1) durch Syruptheile noch gelblich, so bedeckt man sie mit einem Thonbrei b. Allmählig zieht sich das farblose Wasser in den Zucker und zwingt den Syrup, bei c auszufließen.

Ziemlich porös ist der gebrannte Thon, und daher jede Töpferwaare, wenn die Masse nicht, wie beim Steingut und Porzellan, einigermaßen verglast worden ist. Die meisten Töpferwaaren versieht man daher mit einer Glasur, d. h. man erzeugt auf der Oberfläche eine nicht poröse, dünne Glashaut.

*) Man bestreicht einen Körper z. B. mit der Auflösung eines Harzes in Weingeist. Dieser verdunstet, und auf dem Körper bleibt eine ganz dünne Harzdecke sitzen, die unauflöslich im Wasser und nicht porös ist. S. meine Technologie I, Nro. 33.

Unglasirt läßt man Ziegel und Backsteine, Blumentöpfe, Zuckerformen u. a., wo die Porosität eher zuträglich ist. In Spanien ꝛc. macht man sogar absichtlich Gefäße (Alkarrazzas) von einer sehr porösen Masse, weil durch die Verdunstung des Wassers, das sie reichlich durchsickern lassen, eine Abkühlung bewirkt werden soll. Die gewöhnlichen Tiegel müssen hingegen porös bleiben, weil die starke Hitze, die sie auszuhalten haben, eine poröse Masse nöthig macht und keine Glasur gestattet. Gyps ist zu Formen deßhalb oft besonders tauglich, weil er das Wasser einsaugt.

Manche Materialien, die wegen der großen Menge von Zwischenräumen ein unbequemes Volum haben (wie z. B. Baumwolle), preßt man zusammen.

§. 267. Zuweilen sucht man hingegen umgekehrt, eine Masse lockerer und leichter zu machen. So können z. B. möglichst leichte Backsteine zuweilen erwünscht seyn. Man soll dergleichen herstellen können, wenn man den Thon mit Holzstückchen mengt, indem durch die Verkohlung derselben beim Brennen dann eine Menge Zwischenräume entstehen.

Die Lockerheit macht gewisse Körper noch zu andern Anwendungen geeignet. Lockere Substanzen sind z. B. schlechte Wärmeleiter und daher warmhaltend.

Auf eine eigne Weise erzeugt man die Luftigkeit des Brodes. Man bringt in dem Teige eine Art Gährung hervor, so daß in allen Theilen Luftbläschen entstehen, die sich beim Backen noch mehr ausdehnen.

Auf der Porosität beruht endlich zum Theil wenigstens die entfärbende Eigenschaft der Kohle. Thierische Kohlen haben überhaupt zwar eine weit stärkere Entfärbungskraft, als vegetabilische; einen wesentlichen Einfluß hat aber die Bereitungsart. Am tauglichsten sind die Kohlen, die am porösesten sind.

2) Von der Zertheilung der Körper in die kleinsten Theile.

§. 268. Nicht bloß die chemische, sondern auch die mechanische Zertheilung der Materie geht oft fast in's Unendliche. (12) Schüttet man einige Tropfen einer Harzauflösung in ein Glas Wasser, oder bläst man etwas Luft (also kohlensaures Gas) in Kalkwasser, so wird das Wasser durchaus trübe und weiß, weil nun unzählige unauflösliche Harz- oder Kalktheilchen darin schweben.

Wird eine gesättigte und warme Auflösung von Alaun erkältet, so schlägt sich allmählig Salz nieder, und ohne Zweifel scheiden sich aus jedem Tropfen mehrere und daher unendlich kleine Theilchen aus.

Eine ähnliche mechanische Zertheilung hat in vielen Fällen Statt, die man irrig zuweilen zu den Auflösungen rechnet. Reibt man Tusch oder eine Lackfarbe mit Wasser an, so wird dieser Farbestoff nicht aufgelöst, sondern nur in ausnehmend feinen Partikeln darin zertheilt. Gleiches geschieht, wenn man Berlinerblau mit Salzsäure anreibt. Diese Flüssigkeit enthält dann unzählbare Farbetheilchen, kann aber, weil sie dennoch keine Auflösung ist, nicht zum eigentlichen Färben dienen. Auch in der Dinte sind die gallussauren Eisentheilchen, wodurch sie schwarz ist, nur mechanisch vertheilt, und bilden daher, obschon sie sich sehr lange schwebend erhalten, zuletzt einen Bodensatz, wenn nicht etwa die Klebrigkeit des Wassers durch einen Zusatz von Gummi oder Zucker vermehrt wird.

In einer Farbebrühe ist der Farbestoff (das Pigment) wirklich aufgelöst. Versieht man aber eine solche, eine Cochenillebrühe z. B., mit Alaun (ein Thonsalz) und Soda, so entsteht eine unauflösliche Verbindung von Thon- und Farbetheilchen, die wegen ihrer Feinheit sehr lange in der Flüssigkeit schwebend bleiben, und langsam nur sich zu Boden setzen. Dieser aus ungemein feinen Farbetheilen bestehende Satz heißt Carmin. Sezt man etwas Hausenblase zu, so bildet er sich

schneller, weil nun der Leim die feinsten Theile zu etwas größern vereinigt. Auf dieselbe Weise bereitet man überhaupt die Lackfarben. Auf eine ähnliche erhält man die Stärke oder das Satzmehl.

§. 269. Um harte Körper in kleine Theile zu zertrennen, wendet man gewöhnlich andere Mittel an. Man raspelt, feilt, zerstößt oder mahlt sie ꝛc. Zum Zerpulvern der Erze dienen Pochwerke, zum Zerstoßen der Schießpulvermaterialien ähnliche Stampfwerke. Gyps u. dgl. zermahlt man meist durch einen vertikal umlaufenden Mühlstein. Um Indig zu zerreiben (oder andere Materien, die nicht stäuben dürfen), wird er mit Metallkugeln in einen Behälter eingeschlossen, und dieser eine Zeitlang herumgetrieben. Zinn oder Blei kann man einigermaßen zertheilen, wenn man es geschmolzen in kaltes Wasser gießt. Ziemlich feine Zinnkörner erhält man, wenn man es geschmolzen in eine hölzerne, mit Kreide ausgestrichene Büchse bringt, und schnell hin- und herschüttelt.

§. 270. Um die feinern Theile von den gröbern zu sondern, wendet man gewöhnlich Siebe an. Um das feine Mehl zu trennen, Beuteltuch oder feine Drahtgewebe ꝛc. Ein anderes Verfahren, das Schlemmen, gründet sich darauf, daß sich die Theilchen eines Körpers im Wasser um so länger schwebend erhalten, je zarter sie sind.

Um Töpferthon von beigemengten Sand- oder Kiestheilen zu reinigen, wird er mit Wasser zu einem dünnen Brei angerührt. Läßt man diesen ruhig stehen, so fallen bald, aber zuerst bloß die gröbern Theile zu Boden. Zieht man darauf die Flüssigkeit ab, so entsteht nun ein zweiter Satz, der nur feinen Thon enthält. Auf gleiche Weise schlemmt man oft die Kreide, wenn sie Sand enthält, Reisblei u. a. m.

Um mit Schmirgel zu schleifen, muß man Schleifpulver von immer größerer Feinheit anwenden. Um diese zu sortiren, mengt man den verstoßenen Schmirgel mit Wasser, und gießt dieses zu wiederholten Malen, alle vier oder fünf Minuten z. B.,

ab. Jedesmal setzen sich Schmirgeltheile und immer zartere zu Boden.

Um endlich aus gepochtem Erze die spezifisch schwerern Metalltheile abzusondern, wäscht man es z. B. auf schiefen Tischen mit herabfließendem Wasser, das die leichtern (tauben) Theile wegführt, so daß auf dem Tuche die metallischen liegen bleiben; oder man taucht es in Sieben öfters unter Wasser und unter gehörigem Rütteln; das Wasser hebt dann zwar alle Theile, die schwerern senken sich aber früher und sammeln sich daher am Boden des Siebes. Diese Operation nennt man Schlichführen, weil das reinere Metallpulver Schlich heißt.

3) Benutzung der Dehnbarkeit.

§. 271. Körper sind dehnbar, wenn deren Theile sich ohne den Zusammenhang zu verlieren, auseinander ziehen lassen. (28) Biegsamkeit ist nicht ganz dasselbe. Leder, Tuch, Papier 2c. sind sehr biegsam und wenig dehnbar. Der Grad der Festigkeit eines dehnbaren Körpers heißt auch seine Zähigkeit. Die Dehnbarkeit vieler Körper wird besonders benuzt, um, ohne sie zu zertheilen, ihre Form zu verändern.

Dehnbar sind manche sehr weiche Substanzen, wenn sie zugleich ziemlich zähe sind; so der Mehlteig. Man kann daraus sogar dünne Fäden und Röhrchen bilden, wenn man ihn durch enge Löcher hindurchpreßt, namentlich in einem warmen Raume, wo jene dann schnell austrocknen und erhärten.

Noch nützlicher ist die Geschmeidigkeit des feuchten Thons oder der thonhaltigen Erde. Leicht gibt man ihm auf der Töpferscheibe allerlei zweckdienliche Formen, in denen er dann beim Brennen erhärtet.

Sehr dehnbar ist der Caoutschouk, wenn man ihn vorerst durch Dampf und in Schwefeläther oder Steinkohlenöl erweicht. Eine kleine Kugel läßt sich durch eingepreßte Luft zu

einer Blase von drei und mehr Fuß Durchmesser aufblasen, oder einer ganz dünnen und doch noch elastischen Haut. *)

Auffallend ist die Dehnbarkeit des sonst so spröden Glases, wenn es glühend heiß ist. Bekanntlich erzeugt man die meisten Glaswaaren, indem man die durch Glühhitze erweichte Glasmasse aufbläst und etwa zugleich in hohle Formen eindrückt. So bildet man die Kugel an einer Thermometerröhre, indem man das zugeschmolzene Ende einer Glasröhre erst erweicht und dann aufbläst. Man kann die Kugel bis zur Dünne einer Seifenblase auftreiben. So erzeugt man das Sprengglas. Röhren erhält man, indem man bloß eine durchbohrte und glühende Glasmasse schnell in die Länge zieht. Noch merkwürdiger erscheint die Geschmeidigkeit des Glases beim Glasspinnen.

Befestigt man das eine Ende eines Glasstängelchens an einen Haspel, und macht man jenes an einer Lampe glühend, so kann man, wird der Haspel mit größter Schnelligkeit umgedreht, in weniger als einer Minute einen Faden erzeugen, der über 1000′ lang und dünner als das feinste Menschenhaar ist.

§. 272. Am häufigsten benuzt man die Duktilität mancher Metalle, indem man sie hämmert, streckt, ausprägt u. s. w., und namentlich indem man sie in dünne Blätter (Bleche oder Folien) und in Draht verwandelt. Jene erzeugt man entweder durch Schlagen mit platten Hämmern oder mit Hülfe von Walzwerken.

Bis zu welcher Feinheit das reine Gold ausgeschlagen werden kann, ergibt sich aus folgender Berechnung. 36 □″ des feinsten Blattgoldes wägen nur 1 Gran; 1 Cub.″ Gold aber an 22 Loth oder 5280 Gran. Das Blattgold muß also $\frac{1}{5280 \times 36}$ oder kaum $\frac{1}{190000}$″ dick seyn. Auf vergoldetem Draht muß es aber oft noch viel dünner seyn, da dieser nach einer einfachen Vergoldung noch sehr verlängert werden kann.

*) Diese unlängst erst entdeckte Eigenschaft des Federharzes hat seit Kurzem den Consum dieses Stoffs vermehrt. In England verbrauchte man 1831 an 3000 Pf. und 1832 schon über 150,000 Pf.

Den Draht verfertigt man gewöhnlich, indem man eine Metallstange durch eine Reihe von immer enger werdenden Löchern einer Stahlplatte (des Zieheisens) hindurch zieht. Je fester und dicker das Metall ist, und je mehr und schneller der Draht auf einmal verdünnt werden soll, desto mehr Kraft wird zum Durchziehen erfordert. Immerhin darf diese nicht so groß seyn, wie die der Festigkeit, weil der Draht sonst zerreißt. Daher ist eine allmählige Verdünnung nur thunlich, und öfters ein Ausglühen nöthig, um das sprödgewordene Metall wieder duktiler zu machen (164), daher auch kann das Durchziehen um so schneller Statt finden, je feiner schon der Draht ist.

Man fand, daß, um Eisendraht von 1,35''' Durchmesser zu einer Dicke von 1,17''' und auf einmal zu ziehen, die Kraft = 388 Pf. ist; von 1,17''' bis 1,06 nur 244 Pf., und von da bis 0,95 nur 150 Pf. u. s. w. Die nöthige Kraft ist aber nach den Metallen sehr ungleich — harter Stahl, hartgezogenes Eisen und Messing erheischt eine weit größere, als weicher oder geglühter, und eine noch weit größere, als Gold oder als Blei.

Der feinste Claviersaitendraht ist kaum 1/10''' dick — und davon gehen über 5000' auf ein Pfund. Von 1''' dickem hingegen nur 50', denn der Querschnitt oder die reelle Dicke ist 100mal größer. Zinn- und Bleidraht läßt sich kaum bis zu 1/40'' dünn verfeinern, der echte Gold- und Silberdraht hingegen bis zu 1/50''' und feiner noch. *)

Zieht man das Metall durch ovale, mond- oder sternförmige Löcher, so erhält man Draht von ähnlicher Form im Querschnitt, oder fassonirten.

Ganz feiner Messing oder Eisendraht kann mit einer Geschwindigkeit von 4' per Sekunde durch das Zieheisen gezogen werden, und mittelst Haspel (Scheiben), die man mit der Hand dreht.

---

*) Seit Kurzem wendet man durchbohrte Sapphire zum Ziehen des Golddrahtes zumal an, und die feinsten Löcher sollen oft kaum 1/80''' weit seyn. Edelsteine haben den Vortheil, daß sie sich auch in langer Zeit nicht erweitern, was bei allen stählernen Zieheisen sehr bald geschieht.

§. 273. Eisenstangen werden häufig auch mit Hülfe von kanellirten Walzwerken (wie Fig. 2) in die Länge gestreckt und verdünnt. Die Stange wird aber, damit sie dehnbarer sey, erst glühend gemacht. Auf diese Weise erzeugt man aus Eisen jezt sogar starken Draht. Soll dies Verfahren jedoch vortheilhaft seyn, so muß das glühende Eisen mit möglichster Beschleunigung durchgehen. Die Walzen laufen daher sehr schnell um, was eine große Kraft erheischt, und deßhalb sind auch drei Walzen vorhanden, damit man den Draht, wie er auf einer Seite (zwischen a und b z. B.) hervorgekommen, sofort, und ohne ihn umzukehren, auf derselben wieder in die folgende Rinne (zwischen b und c dann) einstecken kann. So lauft der Draht, obschon noch 2″ stark, oft mit 8′ Geschwindigkeit per Sekunde hindurch.

4) Von der ungleichen Festigkeit der Körper.

§. 274. Fest ist ein Körper, insofern er jeder Kraft, die seine Theile mechanisch zu trennen sucht, einen gewissen Widerstand entgegensezt. (22) Ein Körper ist um so fester, eine je größere Kraft erfordert wird, um ihn zu trennen oder zu zerreißen. Es kommt dabei jedoch gar sehr auf die Art an, wie die Kraft, die den Zusammenhang zu zerstören trachtet, gegen einen Körper wirkt, und derselbe äussert demnach einen bald größern, bald geringern Widerstand, so daß sich mehrere Arten von Festigkeit unterscheiden lassen. (24)

Für den technischen Gebrauch ist es, wie leicht zu erachten, oft von größter Wichtigkeit, den Grad der Festigkeit eines Körpers, und zwar unter allen Umständen, zu kennen, und viele Versuche sind daher zur Ausmittlung derselben gemacht worden. Wir reden zuerst

Von der absoluten Festigkeit.

§. 275. Man versteht darunter den Widerstand eines Körpers gegen eine Kraft, die, in longitudinaler Richtung auf ihn wirkend, ihn zu zerreißen sucht. Die absolute Festigkeit eines

Strickes z. B. wird also durch das Gewicht gemessen, das an denselben gehängt werden muß, damit er zerreißt. Auf gleiche Weise wird man die absolute Festigkeit von Stäben, Stangen, Drähten u. dgl. messen können, wenn man sie (wie Fig. 3) an einem Ende a (das dicker seyn mag) einklemmt, und am andern b Gewichte p anhängt, bis der Stab am dünnsten Theile reißen muß.

Gesezt, der Querschnitt eines Stabes wäre, wo er reißt, = 4 □''', und er risse wenn p = 120 Pfund, so wäre das Maximum der absoluten Festigkeit für 1 □''' auf 30 Pf. zu rechnen. Man nennt diese Festigkeit auch die Tragkraft.

§. 276. Offenbar kann sich die Tragkraft bei Körpern von gleicher Beschaffenheit lediglich nach der Dicke, d. h. der kleinsten Querschnittsfläche, richten. Die Länge muß keinen nothwendigen Einfluß darauf haben. Findet sich also, daß z. B. ein Kupferdraht von 1/3''' Dicke 40 Pf. trägt, so wird die Tragkraft für einen solchen Draht von 1''' Dicke auf 9 × 110 oder 360 Pf. zu bestimmen seyn, da sein Querschnitt 9mal größer ist, und die einer runden Stange von 1'' = 144 × 360 Pf.

Die Erfahrung lehrt indessen, daß die Festigkeit einer und derselben Substanz bei dem Anschein nach ganz gleicher Beschaffenheit oft bedeutend verschieden ist. Bei Berechnungen der nothwendigen Dicke eines Körpers ist es daher rathsam, eine 2, 3 oder 4mal geringere Festigkeit anzunehmen, als die aus einzelnen Versuchen gefundene.

Auffallend groß ist mitunter die Festigkeit mancher sehr zarten und biegsamen Körper, wie die vieler dünnen Häute, vieler Fasern, der Haare, der Seide u. a. m. In der Regel sind sie verhältnißmäßig um so stärker, je dünner sie sind. Ein Bündel der Länge nach zusammengeleimter Hanffäden hat mehr Tragkraft, als eine gleich dicke Stange von Eisen, und ein Cylinder von zusammengeleimtem Papier eine fast halb so große.

§. 277. Für den Techniker ist besonders wichtig, die absolute Festigkeit der Steine, Hölzer und Metalle zu kennen.

Nach den zuverlässigsten Angaben ist sie für einen Querschnitt von 1 □'' rhein. in köln. Pfunden:

Für gutes Schmiede-Eisen	= 72 — 78,000	Pf.
„ Eisenstangen	= 62,000	„
„ dünnen Eisendraht	= 85 — 95,000	„
„ Clavierdraht	= 130,000	„
„ geschmied. Kupfer	= 33 — 40,000	„
„ gegoss. Messing	= 19000	„
„ Zinn	= 4000	„
„ gegoss. Blei	= 912	„
„ Eichenholz	= 20 — 24,000	„
„ Weißtannen	= 13 — 15,000	„
„ Rothtannen	= 10,000	„
„ Mahagoni	= 8 — 9000	„
„ Hanfseile	= 5 — 9000	„
„ Backsteine	= 300	„

Bei Seilen kommt es gar sehr auf die Art der Verfertigung an. In England rechnet man bei Tauen nur auf 5400 Pf. per □″ oder auf 4000 für den O″, und bringt überdies die doppelte Last in Rechnung. Soll ein Seil also 80 Ztr. tragen, so muß es wenigstens 2″ dick seyn; denn da ist der Querschnitt = 4O″ und die Tragkraft = 160 Ztr. *) Bei sehr langen Seilen muß natürlich auch die Schwere des Seils zur Last gerechnet werden. Jedes 4 — 5000′ lange Seil würde durch sein eigenes Gewicht zerreißen.

Die Stärke eines und desselben Metalls ist, je nachdem es gegossen, geschmiedet, gewalzt oder überhaupt bearbeitet worden ist, sehr verschieden. Der Draht ist in der Regel verhältnißmäßig weit stärker, und desto stärker je dünner er gezogen ist. Durch das Ziehen scheint nämlich die Oberfläche eine besondere Dichtigkeit und Zähigkeit zu erlangen. Bei den Metallen ist ferner zu beachten, daß sie durch eine geringere Kraft schon gestreckt werden und demnach eher zerreißen.

---

*) S. Vademecum II. Nro. 14.

Von der relativen Festigkeit.

§. 278. Unter relativer Festigkeit oder transversaler Stärke versteht man den Widerstand eines Körpers gegen eine Kraft, die ihn zu zerbrechen strebt.

Liegt z. B. ein Balken a (Fig. 4) bei i und k auf, und wird bei c ein Gewicht angehängt, so ist seine relative Festigkeit = 10 Ztr., wenn er durch ein solches Gewicht erst zerbrochen wird.

Man sieht leicht, daß die Größe der Kraft, die zum Zerbrechen in diesem Falle erfordert wird, durch mehrere Umstände bedingt seyn muß.

Die Resistenz (oder Stärke) wird bei sonst ganz gleichen Balken um so geringer seyn, je weiter die Last von den Aufliegungspunkten entfernt, und also je länger der Balken ist; geringer also auch, wenn die Last auf einen Punkt drückt, als wenn sie vertheilt ist. Ferner wird die Stärke nicht bloß im Verhältniß des Querschnitts größer, sondern mehr im Verhältniß der Höhe als der Breite wachsen.

Trägt ein 3′ langer Balken, der an beiden Enden aufliegt, in der Mitte eine Last (die also $1\frac{1}{2}$′ von i und k entfernt ist) von 16 Ztr., so wird ein ähnlicher von 6′ Länge nur 8 Ztr. tragen können, weil die Last in einer doppelten Entfernung wirkt. Ebenso wird ein Balken von rektangulärem Querschnitt weit mehr tragen, wenn er mit der schmälern Seite aufgelegt wird. *)

Nennt man k die aus Versuchen gefundene relative Festigkeit (z. B. für 1 □″) l die Länge des Balkens, h die Seitenhöhe und b die aufliegende Breite desselben (Alles in Zollen), so

*) Darum erhält man aus einem Baume den stärksten Balken, wenn man ihn so auszimmert, daß die beiden Seiten sich verhalten wie 5 : 7, was leicht geschieht, wenn man den Durchmesser a b (Fig. 5) in vier gleiche Theile theilt und durch c und d senkrechte Linien zieht.

findet sich die Tragkraft w für Balken, die in der Mitte belastet sind, durch die Formel:

$$w = \frac{k h^2 b}{l}.$$

Der berühmte Tredgold nimmt für die Praxis $^2/_3$ des nach dieser Formel gefundenen Werthes als Tragkraft an, und als k für 1 Cub.''

Schmiedeisen	18,316	Pf.
Gußeisen	15,743	„
Bronze	10,290	„
Messing	6890	„
Eichenholz	4070	„
Eschen	3640	„
Rothtannen	4414	„
und Ulmen	3330	„

Demnach findet sich die Tragkraft für einen eichenen Balken, der 10' (120'') lang, 8'' hoch und 5'' breit ist, also:

$k = 4070, \; h^2 = 64, \; l = 120, \; b = 5,$

und w daher $\frac{4070 \times 64 \times 5}{120} = 10853$; oder $^2/_3 = 7235$ Pf.

Drückt die Last nicht in der Mitte, so kann sie größer seyn. (Schwere Massen sind daher an die Wände zu stellen.)

§. 279. Ist die Last auf dem ganzen Balken gleichmäßig vertheilt, so trägt er gerade eine doppelt so große, und als eine solche ist denn auch das Gewicht des Balkens selbst zu betrachten. —

Ist der Balken (wie Fig. 6) an einem Ende nur befestigt (z. B. eingemauert), und drückt die Last am andern, so muß die doppelte Länge für l angesezt werden, und derselbe Balken trägt hiemit 4mal weniger, als wenn er an beiden Enden unterstüzt und in der Mitte belastet ist.

Eine cylindrische Stange hat etwa $^3/_5$ soviel Tragkraft, als eine quadratische, deren Seite so groß ist als der Durchmesser der Stange.

Soll ein Balken nicht einmal eine merkliche Biegung erleiden, so muß eine noch viel geringere Belastung vermieden

werden. Bei Maschinen, die möglichst fest stehen sollen, wird daher zur Berechnung der Stärke meist eine 6 oder 10fache Last angenommen.

Von der rückwirkenden Festigkeit.

§. 280. So pflegt man den Widerstand zu nennen, den ein Körper einer Kraft, die senkrecht gegen ihn drückt, entgegen zu setzen vermag, ohne zerdrückt zu werden. Soll eine Säule z. B. eine gewisse Last tragen, so muß ihre rückwirkende Festigkeit größer als diese Last seyn.

Die bisherigen Angaben über diese Festigkeit sind sehr abweichend. Nach Einigen wird zerdrückt:

1 Cub.″	Gußeisen	von	95700 Pf.
„	Porphyr	„	36600 „
„	Granit	„	11200 „
„	Marmor	„	6200 „
„	Backstein	„	600 „
„	Kalkstein	„	520 „

Nach Andern:

1 Cub. Centimeter Basalt und Porphyr von 4 — 5000 Pf.
„ von Schmiedeisen von 10,000 Pf.
„ „ Gußeisen von 20 — 30,000 Pf.
„ „ Kalkstein oder Backstein von 100 — 300 Pf.
„ „ Kupfer von 16,000 Pf.
„ „ Zinn von 12 — 1800 Pf. u. s. w.

Die Tragkraft zweier Säulen verhält sich wie ihre Querschnitte.

Ist aber die Höhe bedeutend größer als die Dicke, so wird die widerstehende Kraft merklich kleiner. Bei 24facher Höhe ist sie kaum $1/2$, und bei 50facher nur $1/4$ so groß als bei gleicher; und für Bauholz bei 50facher Höhe nur $1/6$, und bei 60facher nur $1/12$.

§. 281. Es kann endlich noch eine vierte Art von Festigkeit unterschieden werden. Wird nämlich eine Walze oder eine Stange am einen Ende fest eingespannt, und am andern mittelst eines Hebels um ihre Axe gedreht, so wird sie, wenn die Kraft eine gewisse Stärke erreicht, schraubenförmig verdreht. Die Kraft, die ein Körper aushalten kann, ohne auf diese Weise zertrennt zu werden, heißt der Drehungs- oder Torsionswiderstand, und dieser ist besonders bei Wellbäumen u. dgl. oft zu berücksichtigen.

Zweiter Abschnitt.

Erläuterungen aus der Hydrostatik.

1) Von dem ungleichen Gewichte der Körper.

§. 282. In unzähligen Fällen ist es nöthig, das Gewicht eines Körpers zu kennen, und zwar dieses zu finden, ohne den Körper wirklich abwägen zu müssen. Leicht ist dies möglich, wenn man sein Volum und sein spezifisches Gewicht kennt. Man hat daher Tabellen, die das spezifische Gewicht der verschiedenen Materien enthalten, oder das Gewicht eines gleichen Volums, z. B. das eines Cub. Fußes.

Dergleichen Tafeln sind sehr bequem; es ist jedoch nicht zu übersehen, daß sie kein ganz genaues Resultat geben; denn die meisten Substanzen haben ein bald etwas größeres, bald geringeres spezifisches Gewicht. Merklich verschieden ist es bei den meisten Stein- und Holzarten gleichen Namens, und ziemlich ungleich sogar bei den meisten Metallen.

§. 283. Wir beschränken uns hier auf die Angabe des Gewichtes von einigen der am häufigsten vorkommenden Substanzen.

Von reinem Wasser (oder Regenwasser) wiegt bei gewöhnlicher Temperatur:

1 franz. Cub. Fuß 70 Pariser Pfund, und 1 Cub. Zoll also $1\frac{5}{17}$ Loth.

1 rheinl. Cub. Fuß 66 köln. Pfund und 1 Cub. Zoll $\frac{11}{9}$ Loth. (292 Gran.)

1 Wien. Cub. Fuß 56,3 W. Pfund und 1 Cub. Zoll $1\frac{1}{25}$ Loth.

1 engl. Cub. Fuß $62\frac{1}{2}$ engl. Pfund. *)

1 Cub. Met. 1000 Kilogr. und 1 Cub. Dezim. 1 Kil.

Von folgenden Materien gibt A das spezifische Gewicht, B das Gewicht eines franz. Cub.′ in Kilogr. an:

	A	B	
Quecksilber	13,6	466	Kil.
Blei	11,35	389	„
Silber	10,47	359	„
Kupfer	8,8	301	„
Stabeisen	7,8	267	„
Gußeisen	7,21	247	„
Zinn	7,3	250	„
Granit	2,73	93	„
Sandstein	2,2	76	„
Steinkohle	1,33	46	„
Eichenholz	1,17	40	„
Buchenholz	0,84	32	„
Tannenholz	0,66	$22\frac{1}{2}$	„
Nußbaumholz	0,67	23	„
Weingeist	0,79	27	„
Schwefelsäure	1,84	63	„
Eis	0,93	$31\frac{1}{3}$	„
Wasser	1,00	$34\frac{1}{4}$	„

Von quadratischen und runden Eisenstangen wiegt 1 fr. Fuß bei $\frac{1}{2}$″ Dicke 0,47 Kil. und 0,375 Kil.

„ 1″	„ 1,875	„	„ 1,47	„
„ $1\frac{1}{2}$″	„ 4,22	„	„ 3,23	„
„ $1\frac{2}{3}$″	„ 5,2	„	„ 4,0	„
„ 2″	„ 7,5	„	„ 5,8	„
„ $2\frac{1}{2}$″	„ 11,7	„	„ 9,1	„
„ 3″	„ 16,9	„	„ 13,3	„

*) 1 Cub.″ engl. wiegt $225\frac{1}{2}$ Gran, und 1 Cub.′ also $62\frac{1}{2}$ Pf. (Troy) zu 7000 Gran.

1 □′ Eisenblech $1/2'''$ dick, wiegt			0,93 Kil. *)	
„	Kupferblech	„	„	1,06 „
„	Messingblech	„	„	1,02 „
„	Bleiblätter	„	„	1,5 „
„	Zinnfolie	„	„	0,87 „
„	Zinkblech	„	„	0,82 „

Es läßt sich daraus leicht das Gewicht bei verschiedener Dicke finden. 1 □′ von 4‴ dicken Bleitafeln wird z. B. 12 Kil. wiegen.

Hier noch einige Rechnungsbeispiele.

a) Wie schwer mag ein rechtwinklig behauener Granitblock seyn, der 8′ lang, 5′ breit und 2′ dick ist? (In franz. Maaßen.)

Sein Volum ist $= 8 \times 5 \times 2 = 80$ Cub.′
und sein Gewicht also $= 80 \times 70 \times 2{,}73 = 15{,}288$ Pf.

b) Wie viel wiegt eine gußeiserne Kugel von 15″ (rhein.) Durchmesser in köln. Pfunden.

Ein Würfel von 15″ Seite hat $15^3 = 3375$ Cub.″, eine Kugel von demselben Durchmesser ist 0,524mal so groß.

Der Inhalt jener Kugel ist also $= 0{,}524 \times 3375 = 1768$ Cub.″
und das Gewicht $= 1768 \times {}^{11}/_{9} \times 7{,}21$ Loth $= 487$ Pf.

c) Wieviel wiegt eine kreisrunde Säule von Sandstein, die (in engl. Maaße) 3′ dick und 28′ hoch ist?

Eine Kreisfläche von 3′ Durchmesser ist $= {}^{11}/_{14} \times 9 = 7\,{}^{1}/_{14}$ □′.
Der Inhalt der Säule ist also $= 7\,{}^{1}/_{14} \times 28 = 198$ Cub.′ —
und das Gewicht $198 \times 62\,{}^{1}/_{2} \times 2{,}2 = 27{,}225$ engl. Pfund. **)

§. 284. Das spezifische Gewicht gibt oft ein leichtes Mittel an die Hand, die Beschaffenheit eines Körpers zu prüfen. Namentlich beruht darauf die Zinnprobe.

Das spezifische Gewicht des reinen Zinns ist $= 7{,}31$. Das des reinen Bleis $= 11{,}35$. Enthält das Zinn Blei, so ist das spezifische Gewicht, wie folgende Tafel zeigt, größer.

*) S. Vademecum I, Nro. 17.

**) Die aus einem Granitstück gehauene Alexandersäule in der Säulenstadt St. Petersburg ist 84′ hoch und 14′ dick. Ihr Inhalt ist daher v. 12,424 Cub.′ und das Gewicht an 18,600 Zentner.

Enthält Zinn 5% Blei (also 95 Zinn), so ist es = 7,48.

Bei 10%	= 7,58.	Bei 25%	= 7,75.
„ 20	= 7,89.	„ 25	= 8,02.
„ 30	= 8,17.	„ 35	= 8,36.
„ 40	= 8,54.	„ 45	= 8,68.
„ 50	= 8,87.	„ 60	= 9,28 u. s. w.

2) Ueber den Gewichtsverlust, den feste Körper, in Flüssigkeiten getaucht, erleiden.

§. 285. Daß jeder feste Körper, in eine Flüssigkeit getaucht, gerade so viel von seinem Gewichte verliert, als ein gleiches Volum der Flüssigkeit wiegt, gibt, wie wir früher (102) gesehen, ein leichtes Verfahren an die Hand, das spezifische Gewicht der Körper auszumitteln. Es erklären sich aber daraus noch manche andere oft vorkommende Phänomene.

Vorerst ist zu bemerken, daß umgekehrt die Flüssigkeit genau um den Gewichtsverlust, den ein eingetauchter Körper erleidet, schwerer werden muß. Hängt man z. B. einen 3 Pf. schweren Stein a (Fig. 7) in ein auf einer Wagschaale stehendes Gefäß mit Wasser b, so wird dieses sinken, indem, wenn der Stein um 1 Pf. leichter wird, das Gefäß nun um 1 Pf. mehr wiegt. Ebenso wird es schwerer, wenn man einen Finger oder einen Stab 2c. in das Wasser taucht.

Dieser Gewichtsverlust hat ferner zur Folge, daß schwere Körper unter Wasser sich leichter bewegen lassen. Ein Schiff, das große Steinmassen transportiren soll, würde lange nicht so tief einsinken, wenn diese an Seilen angehängt werden könnten, denn mancher Stein verliert im Wasser an 3/5 seines Gewichts. Und dies ist auch die Ursache, daß Flüsse weit eher Steine fortwälzen können, und zwar um so leichter, je kleiner sie sind, denn je kleiner der Körper ist, desto größer ist verhältnißmäßig seine Oberfläche, und desto mehr Wirkung hat also der Stoß des Wassers.

Diese Verminderung der Schwere ist ferner eine Hauptursache, warum Körper im Wasser ungleich langsamer fallen, als durch die Luft. (75)

Ist das spezifische Gewicht einer Substanz nur um Weniges größer, als das des Wassers, so verliert sie darin fast alle Schwere; und sind die Theile sehr klein, so können sie sich lange darin schwebend erhalten. (70)

Taucht ein Körper nur zum Theil in eine Flüssigkeit, so muß sich sein Schwerpunkt verändern. Liegt der Schwerpunkt des Körpers A (Fig. 8) in c, so fällt er nicht um, weil der Schwerpunkt noch unterstützt ist. Füllt man aber Wasser in das Gefäß B, so wird der untere eintauchende Theil von A leichter, der Schwerpunkt rückt nach d, und ist er nun nicht mehr unterstützt, so muß der Körper umstürzen.

Durch den Gewichtsverlust, den ein Körper im Wasser erleidet, wird es endlich leicht, das Volum desselben auch bei sehr unregelmäßiger Gestalt zu bestimmen.

Verliert z. B. ein Stein im Wasser $17\frac{1}{2}$ Gramm, so muß sein Volum eben so viele Cubikcentimeter betragen. Verlöre ein solcher 960 Gran (köln.), so müßte sein Volum $= \frac{960}{292}$ Cub.″ seyn, da 1 Cub.″ (rhein.) Wasser 292 Gran wiegt. (283)

3) Einrichtung der Aräometer.

§. 286. Da ein schwimmender Körper in verschiedenen Flüssigkeiten mehr oder weniger einsinkt, je nachdem diese ein kleineres oder größeres spezifisches Gewicht haben, so läßt sich ein solcher als Werkzeug gebrauchen, das spezifische Gewicht von Flüssigkeiten auszuforschen. Er muß dann nur so gestaltet seyn, daß sich die geringsten Unterschiede in der Tiefe des Einsinkens leicht kund thun, und derjenige Theil, der bald mehr, bald weniger über oder unter das Niveau kommt, mit einer Skale versehen seyn. (105)

Werkzeuge, die zu diesem Zwecke die geeignete Einrichtung haben, heißen Aräometer (Dichtigkeitsmesser), Flüssigkeits- oder Senkwagen; und je nachdem sie zur Prüfung gewisser Flüssigkeiten insbesondere bestimmt sind, Salzspindeln, Laugenmesser, Weingeistproben u. s. w. Man bedient sich ihrer sehr häufig, da sich aus dem spezifischen Gewichte einer Flüssigkeit sehr oft die Güte oder Stärke derselben bestimmen läßt.

§. 287. Die meisten Aräometer sind aus Glas verfertigt, und bestehen aus einem hohlen kugelförmigen Körper a (Fig. 9) und einer dünnen mehr oder weniger langen Röhre b.

Unter a ist noch eine zweite kleine Kugel angeschmolzen, die mit Schrot oder Quecksilber gefüllt ist, damit das in eine Flüssigkeit tauchende Instrument stets vertikal stehe.

Gewicht und Volum sind so ungefähr berechnet, daß das Instrument in der leichtesten Flüssigkeit, zu deren Prüfung es dienen soll, nie ganz untersinkt, und daß auch in der schwersten die Kugel a nicht hervorrage.

Soll der Aräometer also zur Prüfung von schweren Flüssigkeiten, von salzigen Wassern z. B., dienen, so mag er so eingerichtet seyn, daß er in reinem Wasser bis p, in der gesättigten Salzauflösung bis o einsinkt. Soll er umgekehrt für leichtere, für Branntwein z. B., dienen, so mag er in reinem Wasser bis o, und im stärksten Branntweine bis p einsinken.

Ist o und p fixirt, so wird der Abstand in Grade eingetheilt, und jeder entspricht dann nothwendig einem bestimmten Dichtigkeitsgrade.

Wie leicht zu erachten, müßten, wie bei Thermometern, dieselben Grade stets dieselben spezifischen Gewichte bezeichnen, wenn auf allen jene zwei Punkte auf gleiche Weise fixirt und der Abstand in gleich viele Grade eingetheilt wäre. Allein auch bei diesen Maßwerkzeugen findet sich keine solche Uebereinstimmung.

§. 288. Am gebräuchlichsten ist die Eintheilung nach Baumé. Man verfährt dabei also:

Ist der Aräometer für schwerere Flüssigkeiten bestimmt, so wird er erst in destillirtes Wasser, und dann in eine Auflösung von drei Theilen Kochsalz in 17 Theile Wasser getaucht. Der Abstand beider Eintauchungspunkte wird in 15 Grade getheilt, und gleiche Grade werden dann unterhalb noch, so weit es die Röhre gestattet, aufgetragen.

Bei Aräometern für leichtere Flüssigkeiten wird derselbe erst in eine Auflösung von 1 Theil Kochsalz in 9 Theilen Wasser und dann in reines Wasser eingesenkt, und der erste Punkt mit 0, der zweite mit 10° bezeichnet, und über diesen werden ebenso dann noch 40 oder 50° von gleicher Größe aufgetragen.

Der Nullpunkt auf jenen entspricht also dem Punkte von 10° auf diesen.

Sollen übrigens alle so verfertigten Aräometer genau korrespondiren, so muß das Kochsalz von gleicher Beschaffenheit seyn, die Fixirung der Hauptpunkte bei derselben Temperatur (bei 14° R.) vorgenommen worden seyn, und die Röhre auf ihrer ganzen Länge die gleiche Dicke haben.

Bei den Aräometern nach Beck wird der Einsenkungspunkt in destillirtem Wasser mit 0 bezeichnet, und der in einer Flüssigkeit von 0,85 spezifischem Gewicht mit 30° und dann über und unter beiden die Abtheilung gleichmäßig fortgesezt.

§. 289. Bei allen diesen Aräometern entspricht nun zwar jeder Grad einer bestimmten Dichtigkeit, allein da die Grade gleich groß sind, so sind, wie sogleich erhellen wird, die Abstände auf der Skale nicht den Verschiedenheiten des spezifischen Gewichts proportional. Auf dem Aräometer nach Beck wird z. B. nicht 10° über 0 ein spezifisches Gewicht von 0,95; 20° nicht das von 0,9, 40° nicht das von 0,8 bezeichnen.

Damit nämlich das Gewicht der von dem Aräometer verdrängten Flüssigkeit stets dasselbe bleibt, muß das Volum des eintauchenden Theiles im umgekehrten Verhältniß zum spezifischen Gewicht zu- oder abnehmen.

Ist das Volum des eintauchenden Theils in reinem Wasser $= v$, so muß es $= {}^{100}/_{99}\,v$ seyn, wenn das spezifische Gewicht

= 0,99 ist; und $^{100}/_{98}$, wenn dieses = 0,98 ist u. s. w., oder $^{10}/_{9}$, wenn das spezifische Gewicht = 0,9 ist u. s. w.

Wäre also v oder das eintauchende Volum = 99 Cub.''', so müßte es, wenn 1^0 ein Gewicht = 0,99 bezeichnen soll, = 100 Cub.''' seyn, und der erste Grad also genau 1''' betragen, wenn der Durchschnitt der Röhre 1 □''' ausmachte. Soll nun der zweite Grad ein Gewicht = 0,98 bezeichnen, so muß er um $^2/_{98} \times 99 = 2^1/_{49}$''' von 0 abstehen, also um $^1/_{49}$''' größer seyn, als der erste Grad; auf gleiche Weise wird der dritte Grad für 0,97 um $^3/_{97} \times 99 = 3^6/_{97}$''' abstehen u. s. w. Es ergibt sich hieraus, daß, wenn die Grade der Skale in gleichem Verhältniß ab= oder zunehmende Dichtigkeiten anzeigen sollen, sie nicht gleich groß seyn können, sondern immer größer oder kleiner werden müssen.

Da die Eintheilung solcher Skalen ziemlich schwierig ist, so werden Aräometer nur selten mit dergleichen versehen, und es kann hier nicht weiter von denselben die Rede seyn.

§. 290. Um das spezifische Gewicht mit Hülfe gewöhnlicher Aräometer zu finden, bedient man ch zum voraus berechneter Tabellen.

So bezeichnet z. B. auf Aräometern für leichtere Flüssigkeiten

50^0 Baumé	0,784	und	50^0 Beck	0,773	spezifisches Gewicht
40 „	0,824	„	40 „	0,809	„
30 „	0,875	„	30 „	0,850	„
20 „	0,933	„	20 „	0,895	„
10 „	1,000	„	10 „	0,944	„

und auf Aräometern für schwerere Flüssigkeiten:

5^0 Baumé	1,034	und	5 Beck	1,030
10 „	1,072	„	10 „	1,062
15 „	1,113	„	15 „	1,097
20 „	1,157	„	20 „	1,118
30 „	1,256	„	30 „	1,214 u. s. w.

4) Von den artesischen Brunnen.

§. 291. Gräbt man ein Loch in die Erde, so gelangt man in einer mehr oder minder großen Tiefe sehr oft auf Wasser, das man durch Eimer oder Pumpen herauf schaffen kann, und das sich da immer wieder ansammelt.

Kommt man nämlich bis nahe an eine Erdschicht, die kein Wasser durchläßt, so findet man welches auf derselben angesammelt; und ebenso trifft man leicht Wasser an, wenn man bis zum Niveau irgend eines nicht zu entfernten Flusses ꝛc. in die Erde gegraben hat, weil das durch lockere Erdlagen dringende Wasser überall die gleiche Höhe zu behaupten sucht. So erhält man die gewöhnlichen Ziehbrunnen.

Zuweilen geschieht jedoch, daß, wenn man ein sehr tiefes Loch, und mitunter durch hartes Gestein, in die Erde bohrt, man nun plötzlich Wasser durch das Bohrloch bis nahe an die Oberfläche der Erde, ja oft mehrere Fuß über dieselbe sich erheben sieht, und da dieses Wasser beständig nachfließt, so erhält man so einen natürlichen Springbrunnen. Obschon man diese Art von Brunnen in manchen Gegenden (in Frankreich, Oesterreich und zumal China) schon lange kannte, so wurde man doch in neuerer Zeit (vor etwa 20 Jahren) erst darauf aufmerksam. Erst seitdem wurden die besondern Verhältnisse, unter denen dergleichen artesische Brunnen, wie man sie nannte, möglich sind, untersucht, und in den lezten Jahren erst ihrer viele gegraben.

Manchen kam diese Erscheinung fast unerklärlich vor, es ist aber nicht zu bezweifeln, daß sie auf demselben Prinzip wie die gewöhnlichen künstlichen Springbrunnen (96) beruht.

Gesezt nämlich, es finde sich (Fig. 10) eine lockere Erdschicht a zwischen andern für das Wasser undurchdringlichen b und c, und jene stehe überdies mit einer viel höher liegenden Wassermasse oder Quelle ꝛc. d in Verbindung, so muß auch a Wasser enthalten; und dieses wird mit großer Gewalt gegen b drücken, indem es das Niveau von d zu erreichen strebt. Durch b nur

wird es zurückgehalten. Bohrt man daher ein Loch f durch die Schichten b und e, so wird, sowie man a erreicht, sofort das Wasser sich erheben müssen, und sogar über den Boden, wenn d bedeutend höher liegt.

Es ist daraus klar, daß dergleichen Brunnen nur in gewissen Gegenden und bei einer eigenen Beschaffenheit der Erdschichten erhältlich sind; daß man in der Regel ziemlich tief (100 und mehr Fuß tief) und stets durch einige sehr dichte Lager durchgraben muß; doch ebenso wieder, daß solche Brunnen, die zudem nur ein enges Bohrloch erheischen, von ausgezeichneter Nützlichkeit seyn können. *)

5) Einfluß des Luftdrucks auf einige hydrostatische Erscheinungen.

§. 292. Das Wasser kann aus einer umgestürzten Flasche nicht auslaufen, wenn keine Luft in die Flasche steigen kann. Es kann nicht ausfließen, wenn die Oeffnung unter Wasser taucht, oder so eng ist, daß das Eindringen der Luft verhindert ist. Aus einem Fasse A (Fig. 11) kann daher der Wein nicht abgelassen werden, wenn das Spundloch b luftdicht verschlossen ist.

Etwas Wein wird zwar ausfließen, wenn das Faß nicht voll ist, und um so mehr, je größer der Luftraum c ist, wenn das Faß zugespundet wird. Die äussere Luft, wenn der Hahn geöffnet wird, hat nämlich zugleich der Flüssigkeitssäule im Fasse das Gleichgewicht zu halten, und die Luft in demselben kann sich daher etwas verdünnen. Steht im Fasse der Wein z. B. 2′ hoch, so kann sich die Luft um etwa $^2/_{32}$ oder $^1/_{16}$ verdünnen, und wäre ihr Volum = 2 Eimer, so könnte $^1/_8$ Eimer ungefähr noch abfließen. (122)

Dasselbe ergibt sich in vielen andern Fällen. Aus einer Kaffee- oder Theekanne kann die Flüssigkeit nicht ausgegossen werden, in einem Oelbehälter das Oel nicht sinken 2c., wenn der

*) Die Erscheinung solcher Brunnen ist darum oft sehr räthselhaft, weil sie einem viele Stunden weit liegenden höhern Wasser ihren Ursprung verdanken können.

Deckel ganz dicht schließt, und keine Oeffnung hat, die Luft hineinläßt.

Auf diesem Prinzipe beruht die Wirkung des **Stechhebers** (Fig. 12), eines sehr einfachen und bequemen Werkzeugs, um etwas Flüssigkeit aus einem Gefäße ohne Hahn abzuziehen. Taucht man nämlich dasselbe in die Flüssigkeit a, und schließt man nachher die obere Oeffnung b, so wird die bis c hinein gedrungene Flüssigkeit herausgehoben werden können, wenn die untere Oeffnung d so enge ist, daß sie nicht leicht Luft hinaufsteigen läßt. Steckt man auch nur die untere Röhre durch das Spundloch in ein volles Faß, so wird man auf diese Weise Flüssigkeit herausheben können, wenn man sie in c hinaufsaugt und schnell dann b zuhält.

§. 293. Aus dem Obigen erklären sich einige artige **Spielwerke.**

Ist a (Fig. 13) ein mit Wasser zum Theil gefülltes Gefäß, so wird das Wasser nur dann durch die kleinen Oeffnungen i und n ausfließen können, wenn Luft durch die Röhre p nach a gelangen kann. Man wird daher nach Belieben das Ausfließen hemmen oder bewirken können, indem man bloß die untere Oeffnung t zu verschließen oder zu öffnen braucht.

Ebenso wird man bei der Vorrichtung (Fig. 14) einen intermittirenden Brunnen erhalten, wenn mehr Wasser durch i und n aus-, als bei l abfließen kann; denn es wird dann das bei o sich ansammelnde Wasser die Oeffnung t, durch die allein Luft nach a gelangen kann, bald sperren, bald offen lassen.

Eine nützliche Anwendung von diesem Prinzip läßt sich machen, um in einem Gefäße den **Wasserstand** auf gleicher Höhe **zu erhalten.**

Gesezt nämlich, im Gefäße A (Fig. 15) soll eine Flüssigkeit stets auf dem Niveau cd erhalten bleiben, während durch i bald mehr, bald weniger davon auslauft, so darf man nur ein zweites mit eben derselben gefülltes Gefäß B umgestürzt in A einsenken, so daß die Mündung b in der Linie cd liegt. Denn es wird

nun, sowie in A das Niveau nur um ein Unmerkliches sinkt, sofort Luft in B eindringen und Flüssigkeit ausfließen können; umgekehrt aber dies sofort nicht mehr möglich seyn, wie cd die Mündung von B erreicht und also schließt.

Häufig macht man indessen zur Regulirung des Wasserzuflusses von einer andern Vorrichtung, von einem sogenannten Schwimmer, Gebrauch. Gesezt nämlich, der Wasserstand in A (Fig. 16) solle stets auf dem Niveau ab erhalten und demnach der Zufluß aus der Röhre x regulirt werden, so wird dies durch einen schwimmenden Körper h bewirkt, wenn dadurch die Klappe i geschlossen wird, sobald h bis zur gehörigen Höhe gehoben ist, und sie umgekehrt sich öffnen muß, sowie h etwas tiefer sinkt.

6) Vom Heber.

§. 294. Auf der Störung des Gleichgewichts der beiden Flüssigkeitssäulen in kommunizirenden Röhren beruht die sehr einfache und zu manchen Anwendungen bequeme Vorrichtung, die man Heber (Siphon) nennt.

So wie Wasser aus einer umgekehrten und oben verschlossenen Röhre nicht auslaufen kann, wenn sie nicht über 30′ hoch ist, und überdies enge genug, daß keine Luft neben dem Wasser aufsteigen mag, ebenso wird es aus einer umgekehrten zweischenklichen Röhre ab (Fig. 17) unter denselben Bedingungen nicht ausfließen können. Damit jedoch dies nicht geschehe, muß auch die vertikale Höhe der Wassersäule in beiden Röhren genau die gleiche seyn oder cd = fd; denn alsdann nur ist das Bestreben auszufließen auf beiden Seiten dasselbe, so daß, da auch der Luftdruck gegen beide Oeffnungen gleich groß ist, keine der Säulen sinken kann.

§. 295. Anders verhält es sich aber, wenn der eine Schenkel, z. B. b, im mindesten nur länger ist, oder fd größer als cd. Sofort wird alles Wasser durch jenen ausfließen. Denn da die Wassersäule in b stärker drückt, als die in a, und der Luftdruck derselbe ist, so wird b sinken; und da, wenn die Röhre nicht über 30′ oder 32′ hoch ist, bei d kein Vacuum entstehen kann,

so wird das Wasser in a nachrücken. Taucht der eine Schenkel a (Fig. 18) in ein Gefäß mit Wasser, so wird, so lange ed kürzer als fd ist, auch das Wasser aus n durch die Luft in die Röhre gedrückt werden, und aus f also Wasser ausfließen, bis der Wasserstand in n mit f gleich hoch steht.

Man kann vermittelst einer solchen Röhre also eine Flüssigkeit aus einem Gefäße oder Behälter abziehen oder abfließen machen, ohne daß im Gefäße unter dem Wasserstande eine Oeffnung vorhanden ist, und eine zu diesem Zwecke geeignete gebogene Röhre heißt eben ein H e b e r.

§. 296. Die Bedingungen, unter denen das Ausfließen aus einem Gefäße durch einen Heber Statt findet, sind nach Obigem folgende:

1) In beiden Schenkeln muß Flüssigkeit enthalten seyn;
2) in dem Schenkel, durch den sie ausfließen soll, muß sie etwas länger seyn, als in dem andern;
3) der höchste Punkt des Hebers darf höchstens 30 — 32′ über dem Niveau im Gefäße liegen, wenn es Wasser und höchstens 27 — 28″, wenn es Quecksilber enthält.

Von dem Luftdrucke hängt nämlich die Höhe ab, bis zu der die Flüssigkeit steigen kann. Läßt man daher Wasser durch einen etwa 6″ hohen Heber unter einer Luftpumpe fließen, so hört er zu fließen auf, sobald die Luft auf das 60fache verdünnt ist.

§. 297. Dem Heber gibt man verschiedene Einrichtungen, und wendet ihn auf mancherlei Weise an.

Jedes Gefäß wird man mit Hülfe desselben ganz oder zu jeder beliebigen Tiefe leeren können, wenn nur die Mündung des Abflußschenkels tiefer liegt.

Durch den Heber x wird das Gefäß A (Fig. 19) bis n, durch den Heber y ganz geleert werden.

Um den Heber in Gang zu setzen, muß man ihn entweder vorher füllen, oder aber durch Ansaugen (wenn er nicht zu groß ist) bei q das Wasser erst steigen machen.

Da Letzteres oft unbequem ist, so hat man auch Doppelheber wie Fig. 20. Man saugt dann bei p, während man die Oeffnung q mit dem Finger verstopft.

Will man eine Flüssigkeit aus a in die Flasche b (Fig. 21) überziehen, so kann folgende Vorrichtung bequem seyn. Man verstopft b mit einem Pfropfen, durch den eine Heberröhre x und eine zweite Saugröhre z gehen. Verdünnt man die Luft in b durch das Saugen, so wird sofort das Fluidum aus a durch den Heber übergehen. Weder Mund noch Finger kommen da mit der Flüssigkeit in Berührung.

Verbindet man zwei Gefäße t und q mit einem Heber n (Fig. 22), so wird man nach Belieben die Flüssigkeit aus t nach q oder aus q nach t hinübergehen lassen können, je nachdem man das eine oder das andere höher oder tiefer stellt.

Bringt man in einem Becher a (Fig. 23) einen Heber bc an, so läßt sich derselbe bis nahe an d anfüllen, indem die Flüssigkeit bloß in der Röhre b zugleich steigt. Wird er aber bis über d gefüllt, so gelangt die Flüssigkeit auch in die Röhre c und darin unter das Niveau. Sie wird daher unten ausfließen und der Becher sich gänzlich leeren.

§. 298. Wahrscheinlich sind dergleichen heberartige Erdspälte die Ursache, daß gewisse Quellen periodisch fließen und wieder zu fließen aufhören, sowie die der sonderbaren Erscheinungen, welche der bekannte Zirknitzersee (in Krain) darbietet, der zu gewissen Zeiten schnell abfließt und zu andern sich wieder füllt.

Je tiefer die Abflußöffnung unter dem obern Wasserniveau liegt, desto schneller fließt das Wasser aus. Biegt man daher (wie Fig. 24) das untere Heberende x um, so wird das Wasser in die Höhe und bis nahe zu der von d springen. (96)

Heberartige Vorrichtungen gestatten auch im Großen zuweilen eine nützliche Anwendung. Will man z. B. (Fig. 25) einen Abfluß des Wassers aus dem Behälter A veranstalten, ohne den Damm B zu durchbohren, so kann dies mit Hülfe einer Röhre xyz geschehen, wenn die Mündung z tiefer als x und nicht mehr als 30′ unter y zu liegen kommt. Eine so

große Heberröhre kann im Anfange durch eine Oeffnung bei y gefüllt werden, nachdem man zuvor die untern von x und z verstopft hat. Nachher muß natürlich auch y wieder luftdicht geschlossen werden.

7) Von Gasometern.

§. 299. Ein Gasometer ist eigentlich ein Apparat, um Luftvolume zu messen, und dergleichen finden sich auch in chemischen Laboratorien. *)

Unter Gasometern versteht man aber ferner große in Wasser tauchende Behälter, um Gase und namentlich brennbares Gas aufzubewahren, und mittelst derselben regelmäßig ausströmen zu lassen. Wir reden hier nur von solchen.

Man bedient sich dieser Gasometer besonders in den Leuchtgasanstalten und den Gassengereien. **)

Fig. 26 stellt einen Gasometer dar; a ist der meist aus Blech zusammengenietete und cylindrische Behälter, b die bald über dem Boden stehende, bald in denselben eingesenkte, mit Wasser gefüllte Cisterne. Der Behälter a hängt an einer über Rollen gehenden Kette c, die bei d ein Gegengewicht trägt. Durch die Röhre e steigt das Gas, sowie es bereitet wird, ein; durch f wird es, sowie der Behälter sinkt, durch Leitungen nach den Brennmündungen ausgetrieben.

Gewöhnlich muß der Gasometer sehr geräumig seyn; denn er muß in der Regel wenigstens so viel Gas fassen, als täglich bereitet oder konsumirt wird. Da eine Lampe per Stunde an 4 Cub.′ Steinkohlengas verzehrt, so muß ein Gasometer für 400 Lampen, die fünf Stunden brennen, an 8000 Cub.′ fassen, und noch etwas größer muß die Cisterne seyn.

---

*) In den Leuchtgasfabriken hat man ebenfalls Vorrichtungen, um das abfließende Gas zu messen, und nennt auch diese dann Gasometer.

**) Lezteres sind Anstalten, um das flaumige Wesen der Baumwollenzeuge mittelst Gasflammen abzusengen.

Soll der Cylinder gleich hoch und weit seyn, so ist der Inhalt oder $v = \frac{11}{14} d^3$, also $d = \sqrt[3]{\frac{14}{11} v}$.

Ist $d = 26'$ und $h = 20'$, so ist der Inhalt $= \frac{11}{14} d^2 h$, also $\frac{11 \times 16 \times 16 \times 20}{14} = 4023$ Cub.′

Die Deckelfläche beträgt $\frac{11}{14} d^2$ -- oder 201 □′

und die Seitenfläche $\frac{22}{7}$ dh . . . . 1005 „

An Blech werden also nöthig . . . 1206 □′

und der Behälter wiegt, ist das Blech nur ⅖‴ dick, mit den Nietnägeln an 2000 Pf.

Ist derselbe ganz gehoben, so verdrängt er beinahe 4000 C.′ Luft, und diese wiegen zu $^1/_{11}$ Pf. c^a 360 Pf.

Und die eingeschlossene leichtere Luft wiegt nur etwa ⅔ soviel oder 240 Pf., und sucht also mit 120 Pf. den Behälter zu heben.

Da dieser aber an 2000 Pf. wiegt, so ist an keine Lüftung zu denken, vielmehr drückt der Ballon mit einem Uebergewicht von 2000 — 120 oder 1880 Pf., oder von mehr als 9 Pf. per □′ der Deckelfläche. *)

Dieser Druck würde das Einströmen des Gases durch e erschweren. Daher das Gegengewicht d. Müßte der Druck beinahe ganz wegfallen, so müßte d an 16 Ztr. betragen.

§. 300. Es ist jedoch ein gewisser Druck nöthig, um das Gas durch f auszutreiben, und ein um so größerer, je enger und länger die Leitungen sind. Bei großen Gasometern beträgt der erforderliche meist 6 — 8 Pf. per □′ Deckelfläche, bei kleinern 4 — 6 Pf.

*) Bei viel größern Gasometern wird allerdings die Steigkraft (oder der Gewichtsunterschied der innern Luft) verhältnißmäßig größer, weil der Inhalt im kubischen, die Oberfläche im quadratischen Verhältniß wächst. Allein auch da ist um so weniger je eine Hebung bis aus dem Wasser zu befürchten, da das Blech dicker seyn muß. So wiegt der kolossale Pariser Gasometer an 900 Ztr., während er kaum 160 Ztr. atm. Luft verdrängt.

Wären also bei obigem 4 Pf. hinreichend, so müßte, da der Druck 9 Pf. beträgt, das Gegengewicht 5 × 200 — oder 1000 Pf. schwer seyn.

Die Luft wird hiemit nur um Weniges komprimirt. Denn der natürliche Druck beträgt per □′ an 2200 Pf. (§. 115), und ein Mehrdruck von 5 Pf. komprimirt die Luft nur um $^1/_{440}$. Immerhin bewirkt dieser, daß das Niveau des Wassers im Gasometer etwas herabgedrückt wird, und daher niedriger als in der Cysterne steht. Für jedes Pfund Ueberdruck macht dies $^{32}/_{2200}$′ oder etwa 2‴.

§. 301. Bei großen Behältern kommt endlich in Betracht, daß sie beim Einsinken etwas leichter werden, weil das Eisen im Wasser etwa $^1/_8$ seines Gewichts verliert. (283) Hat ein solcher 80′ Umfang, und wiegt 1 □′ Blech 3 Pf., so wird er, sowie er um 1′ tiefer sinkt, um 30 Pf. leichter und umgekehrt. Der Druck würde daher allmählig schwächer, und man müßte, um Gleichförmigkeit zu erhalten, beim Sinken von Fuß zu Fuß das Gegengewicht um 30 Pf. vermindern.

Leicht geschieht diese Compensation aber, indem man der Kette c′ ein bestimmtes Gewicht gibt. Wiegt nämlich in obigem Falle 1′ Kette 15 Pf., so wird, so oft der Behälter um 1′ sinkt, das Kettenstück c um 1′ länger, und c′ um 1′ kürzer, und jenes daher, das auf den Kasten drückt, um 30 Pf. schwerer als dieses.

Ein solcher Gasometer kann übrigens auch zur Bemessung des Gases dienen, wenn man seitwärts eine Skale anbringt. Hat obiger Gasometer eine Weite von 200 □′, so zeigt eine Erhebung um 1′ deutlich, daß er 200 Cub.′ Gas erhalten, und umgekehrt ein Sinken um 1′, daß er ebensoviel verloren.

Dritter Abschnitt.

Industrielle Erläuterungen aus der Lehre von der Luft.

1) Praktische Anwendungen barometrischer Werkzeuge.

1) Der Barometer als Wetterglas. (119)

§. 302. Der Zustand der Atmosphäre verändert sich ohne Zweifel hinsichtlich der Feuchtigkeit, der Temperatur, der Elastizität u. a. m. bevor eine Aenderung der Witterung eintritt. Manche Thiere und einzelne Menschen, zumal an krankhaften Theilen, fühlen oft jene vorhergehenden Aenderungen, und ebenso kann das Trocken oder Feuchtwerden von Salzen z. B. diese anzeigen. Insbesondere ist aber der Barometer, indem er die Veränderungen des Luftdrucks bemerklich macht, geeignet, zum Voraus Wetterveränderungen anzuzeigen, und die Erfahrung lehrt, daß in der Regel ein rasches, oder anhaltendes, oder starkes Fallen des Barometers Regen, Wind oder Schnee, und ein ähnliches Steigen helles Wetter zur Folge hat. Der Barometer ist daher und mit Recht sehr allgemein als Wetterglas im Gebrauch, und da so sehr viele Verrichtungen von der Witterung abhängen, so kann dieses Werkzeug auch vielen Gewerbtreibenden sehr nützlich seyn.

Besonders wichtig ist er in dieser Beziehung auch den Seefahrenden, da auf der See Barometerveränderungen noch zuverlässiger Wetterveränderungen anzeigen.

2) Der Barometer als Werkzeug zu Höhenmessungen.

§. 303. Thürme, Bäume u. dgl. werden am füglichsten geometrisch gemessen, und Höhenunterschiede des Terrains durch Nivellirung (mit Hülfe einer Wasserwage). Häufig ist aber in andern Fällen der Barometer das tauglichste oder bequemste Meßwerkzeug.

Da nämlich der Druck der Luft regelmäßig abnimmt, je mehr man sich über die Erde erhebt, und die Quecksilbersäule im Barometer daher fällt, so muß, kennt man das Gesetz jener Abnahme, aus dem Sinken des Barometers auch umgekehrt sich die Erhebung berechnen lassen. (119)

Eine genaue Berechnung ist freilich nicht ganz einfach, denn 1) nimmt der Luftdruck nicht gleichmäßig, sondern in geometrischer Progression ab. Bei einem Barometerstande von 27—28″ fällt er um 1‴ schon, wenn man um 75 oder 76′ steigt; in großer Höhe hingegen, wo die Luft doppelt so dünn ist, braucht es 150′ damit der Stand sich um 1‴ ändere. 2) Hat die Temperatur der Luft einen merklichen Einfluß auf diese Veränderungen. Ueberdies werden sehr gute und doch leicht transportable Instrumente erfordert, und Uebung, um den Barometerstand scharf auszumitteln. Endlich sollte die Beobachtung wo möglich an beiden Orten, deren Höhenunterschied man erfahren will, gleichzeitig geschehen, und es werden daher zwei Personen und zwei völlig gleiche Barometer nöthig.

§. 304. Oft genügt schon eine annähernde Bestimmung, dann ist die Messung ganz leicht. Man multiplizirt den Unterschied des Barometerstandes in Linien mit 76, 80 oder 86, je nachdem der mittlere Stand etwa 27, 26 oder 25″ beträgt.

Gesezt, am Fuße eines Berges stehe der Barometer auf 27″ und auf dem Gipfel auf 25″ 2½‴, so ist der Abstand 21½‴

und der Berg wird ungefähr 80 $\times$ 21½ oder 1720′ hoch seyn. (Franz.)

So kann man auf Bergreisen, ist man mit einem bequemen Reisebarometer versehen, an jeder Stelle fast augenblicklich erforschen, um wieviel man auf- oder abwärts gestiegen ist; an Tagen wenigstens, wo der Barometerstand an sich wenig Veränderungen erleidet. *)

Soll aber die Höhe weit genauer bestimmt werden, so muß allerdings sowohl die progressive Abnahme des Luftdrucks, als der Einfluß der Temperatur in die Rechnung kommen, und diese daher eine logarithmische werden.

Mit ziemlicher Genauigkeit schon erhält man die Höhen (in franz. Fußen) nach folgender Regel:

Man subtrahirt die Logarithmen bei den Barometerständen in fr. Zollen, und multiplizirt die gefundene Differenz mit 36,385. Zu diesem Produkt h addirt man dann noch das Produkt der mittlern Temperatur (in R.°) mit $\frac{h}{213}$.

Beispiel.

Ramond fand die Barometerhöhe in Tarbes = 27,17″ und die Temperatur = 15,3° R.

Auf dem Pic de Bigore jene = 19,85″ und diese = 3,2° R.

Die Höhe des Pics über Tarbes berechnet sich demnach also:

$$\begin{array}{lr} \log.\ 27{,}17 = & 1{,}43409 \\ \log.\ 19{,}85 = & 1{,}29776 \\ \text{diff.} & 0{,}13633 \end{array}$$

$$36385 \times 0{,}13633 = 7687.$$

Die mittlere Temperatur ist $\frac{15{,}3 + 3{,}2}{2} = 9{,}25.$

und $9{,}25 \times \frac{7687}{213} = 335.$

Die Höhe wäre also = 7687 + 335 = 8022′.

(Trigonometrische Messungen ergaben 8044′.)

*) Am bequemsten sind Heberbarometer (118), die sich leicht umstürzen und dann transportiren lassen, ohne daß Eindringen von Luft und eine Verschüttung von Quecksilber zu befürchten ist.

Auf ähnliche Weise läßt sich der Höhenunterschied zweier sehr weit von einander entfernter Orte (z. B. der von Berlin und Stuttgart) bestimmen. Man nimmt dann den mittleren Barometer- und Thermometerstand, der sich aus sehr vielen, z. B. aus den täglichen Beobachtungen eines ganzen Jahres ergibt.

Auch Luftfahrer nehmen einen Barometer mit, um an demselben zu bemerken, ob und wie der Ballon steigt oder sinkt, und wie hoch er sich überhaupt erhoben hat.

3) Barometrische Apparate, um die Spannung einer eingeschlossenen elastischen Flüssigkeit zu bemessen.

§. 305. In allen Fällen, wo man Luft komprimirt oder verdünnt, oder wo man Dampf in verschlossenen Räumen erzeugt oder kondensirt, kann es wichtig seyn, den Grad ihrer erhöhten oder verminderten Spannung zu erkennen. Dies wird durch mancherlei barometerartige Vorrichtungen möglich. (120)

Um den Druck des Dampfes z. B. wahrnehmen zu können, oder wie stark er in einem Kessel A (Fig. 27) über den der Atmosphäre ist, braucht man an diesem bloß eine zur Hälfte mit Quecksilber gefüllte Heberröhre ab anzubringen, deren kürzere Röhre a mit dem Dampf kommunizirt, und deren längere b offen ist. Steht das Quecksilber in b um 2″ höher als in a, so zeigt der Abstand, daß der Dampf um 2″ mehr Elastizität hat, als die äussere Luft, oder um $1/14$ mehr, wenn der Barometer auf 28″ steht. Diese Heberröhre braucht nur kurz zu seyn, wenn der Dampfdruck selten oder nie den Druck der Luft um ein Bedeutendes übersteigen soll.

Eine ähnliche Röhre wird aber auch dienen können, um einen doppelten oder dreifachen Dampfdruck zu bemessen, nur muß sie dann wenigstens 28″ oder 56″ hoch seyn.

Statt gläserner Röhren, die sehr zerbrechlich sind, kann man auch metallene anwenden, indem man zugleich ein leichtes Stäbchen in den längern Schenkel streckt. (Fig. 28) Denn wie das

Quecksilber steigt oder fällt, ragt dieses, da es darauf schwimmt, mehr oder weniger aus der Röhre hervor. Nur ist zu beachten, daß jede Linie wie bei allen Heberbarometern eine Veränderung von 2‴ anzeigt.

Man bringt auch wohl einen kleinen Schwimmer a (Fig. 29) an, der an einem über zwei Rollen b, c laufenden Bindfaden hängt und ein Gegengewicht d zieht. Dieses zeigt dann an einer Skale, und wo der Beobachter es bequem findet, das Steigen und Fallen des Quecksilbers oder den Dampfdruck an. Man kann überdies einen Wecker anbringen, der in Gang kommt, sobald das Gewicht bis zu einem gewissen Punkte herabsinkt, oder der Dampf einen gefährlichen Grad der Spannung erreicht.

Aehnliche Heber (mit Quecksilber oder Wasser für schwachen Druck) lassen sich mit Windkesseln, Windregulatoren, Gasometern u. dgl. verbinden, um die Elastizität der darin vorhandenen verdichteten Luft zu erkennen.

§. 306. Um einen viel stärkern Luft- oder Dampfdruck zu bemessen, würde eine zu hohe Heberröhre erfordert. Man wendet dann ein anderes Prinzip oder sogen. Manometer an. Man stellt z. B. in das zur Hälfte mit Quecksilber gefüllte Gefäß a (Fig. 47. I.) eine oben geschlossene und mit gewöhnlicher Luft gefüllte Röhre b. Das Gefäß ist hermetisch verschlossen und steht bloß mit dem Dampfkessel in Verbindung. Wie nun der starke Dampf in a eindringt, drückt er das Quecksilber in die Röhre, so daß die eingeschlossene Luft so lange komprimirt wird, bis ihre Elastizität der des Dampfes gleich kommt. Da nun nach dem Mariottischen Gesetze (121) die Spannung wie die Compression wächst, so muß, wofern die Röhre überall gleich weit ist, die Verkürzung der Luftsäule das Verhältniß der Elastizität anzeigen.

Verkürzte sich z. B. die Luftsäule von 20″ auf 4″, so zeigte dies einen fünffachen Dampfdruck an; da indessen das Quecksilber in diesem Falle um 16″ in der Röhre steigt, und der Dampf auch diese Säule tragen muß, so muß der Druck des Dampfes

um 16″ größer, oder wenigstens $5\frac{1}{2}$mal so groß seyn, als der der Atmosphäre.

Man hat diesen Manometern mancherlei für einzelne Zwecke dienlichere Einrichtungen gegeben; wenn das Prinzip des obigen begriffen ist, so sind diese Abweichungen leicht zu beurtheilen.

§. 307. Die Verdünnung der Luft oder des Dampfes (im Condensator einer Dampfmaschine z. B.) läßt sich entweder mit einem ordentlichen Barometer und an dem Sinken des Quecksilbers darin erkennen, oder umgekehrt am Steigen desselben in einer Röhre, deren entgegengesetztes Ende mit der Luft in Berührung ist.

In der That, steht die Heberröhre a (Fig. 30) mit verdünnter Luft in Verbindung, während bei b gewöhnliche Zugang hat, so wird, enthält sie Quecksilber, dieses in a steigen. Betrüge der Abstand 7″, bei einem Barometerstande von 27″, so müßte die verdünnte Luft in A nur eine Spannung von 20″ besitzen.

Selbst unbeträchtliche Unterschiede des Luftdrucks kann man auf diese Weise bemerklich machen und abmessen, wenn man in den Heber dann eine leichtere Flüssigkeit, z. B. Wasser oder Weingeist, einfüllt.

Bringt man z. B. am Fuße eines hohen Rauchfangs A (Fig. 32) einen kleinen Heber mit etwas Wasser an, so wird der kleine Unterschied des Niveaus in beiden Schenkeln bemessen lassen, um wieviel die warme Luftsäule im Schornstein leichter ist als eine gleich hohe der äusseren kalten Luft, und dies Ergebniß zur Berechnung des Luftzuges dienen können.

4) Aehnliche Vorrichtungen zur Verhütung eines übermäßigen Luftdrucks.

§. 308. Es liegt am Tage, daß die obigen Heberapparate einigermaßen die Anhäufung eines zu starken Dampfes verhindern können; denn, wie dieser einen gewissen Grad der Spannung erlangt, wird er das Quecksilber aus der Röhre treiben, und sich selbst dann einen Ausweg bahnen. Je weiter die Röhre

ist, desto eher würde sie diesen Zweck befördern; gewöhnlich macht man aber zu diesem Zwecke von andern Mitteln Gebrauch.

Häufig wendet man hingegen ähnliche Heberröhren bei chemischen Operationen und namentlich bei der Bereitung von Gasarten an, um die Gefäße vor dem Zerspringen zu sichern. Eine solche Sicherheitsröhre ist a (Fig. 31). So lange das in der Flasche b sich entwickelnde Gas ungehindert durch die Röhre c abströmen kann, behauptet das Wasser in beiden Schenkeln der Röhre a ungefähr dasselbe Niveau, und läßt hiemit auch kein Gas durch diese Röhre entweichen. Wird c (oder eine folgende Röhre) aber verstopft, so daß das Gas in b sich anhäuft, so drückt es sofort das Wasser in a in die Kapsel d, und findet durch diese Röhre einen Abzug, bis die andern wieder hergestellt sind.

2) Technischer Gebrauch der Luftpumpe.

§. 309. Obschon die Luftpumpe in der Mitte des 17. Jahrhunderts schon (von dem Deutschen Otto v. Guerike) erfunden wurde, so diente sie doch bis vor Kurzem noch bloß den Physikern, um die Eigenschaften der Luft und die Wirkungen der verdünnten Luft darzuthun und zu erforschen. (126) Der berühmte Watt, der die Dampfmaschine so sehr vervollkommnete, brachte zwar bei derselben auch eine Pumpe an, die er Luftpumpe nannte, und die seither bei allen Maschinen, in denen der Dampf kondensirt wird, angewendet wird. Es ist dies indessen keine eigentliche Luftpumpe, sondern eine Art Saugpumpe, die zu gleicher Zeit das Condensionswasser und die sich fortwährend daraus entwickelnde Luft aus dem Condensator wegschafft.

In der neuesten Zeit hat man hingegen angefangen, wirkliche Luftpumpen zu verschiedenen industriellen Zwecken anzuwenden, und es ist kein Zweifel, daß diese wichtige Maschine mit der Zeit in manchen technischen Gewerben nützliche Dienste leisten wird. Nichts hindert, sie nach Bedarf groß und wirksam genug zu konstruiren, und diese Pumpe, wie andere, durch Elementarkräfte in Bewegung zu setzen.

§. 310. Der Gebrauch der Luftpumpe ist namentlich schon in vielen Zuckersiedereien eingeführt worden. Der Wärmegrad, bei dem das gewöhnliche Versieden des Syrups Statt findet, hat nämlich einen doppelten Nachtheil; manche krystallisirbare Zuckertheile werden dadurch in Schleimzucker verwandelt, und die Zuckermasse brennt leicht an. Diese Nachtheile fallen weg, wenn man den Kessel mit einem gutschließenden Deckel versieht, und das Innere mit einer Luftpumpe in Verbindung bringt. Denn indem man die Luft im Kessel verdünnt, siedet der Saft bei einer weit niedrigern Temperatur. (191) Die Abdampfung hat also leichter (und überdies bei weniger Brennstoffaufwand) Statt, und die Pumpe schafft fortwährend die Dünste weg.

Ferner hat man sie bei der Schnellgerberei anzuwenden versucht. Hängt man nämlich die Häute in Lohbrühe, so dringt sie nur mit Mühe hinein, weil in den Poren Luft ist. Hängt man sie hingegen in hermetischverschlossene Kasten, und zieht man mittelst einer Luftpumpe die Luft weg, so öffnen und leeren sich die Poren der Häute; und wie man darauf die Gerbebrühe einströmen läßt, durchdringt sie sofort die Häute. (126)

Ein ähnliches Verfahren kann beim Leimen des Papiers, das bei dem gewöhnlichen oft mißräth, beim Färben von Tüchern und in andern Fällen angewendet werden.

Eine andere Wirkung läßt sich bei Filtrirapparaten und bei Papiermaschinen benutzen. Bei solchen z. B., wo das Papier durch eine Drahtformtrommel geschöpft wird, verbindet man diese mit einer Luftpumpe, so daß die Luft in der Trommel beständig verdünnt wird. Es hat dies zur Folge, daß die äussere Luft auf die weiche und nasse Papiermasse gleichförmig drückt, und so dieselbe zu einem dichten und festen Blatte macht.

Das Decken oder Terriren des Zuckers (266) kann sehr beschleunigt werden, wenn man die Spitzen der Zuckertöpfe luftdicht auf ein Gefäß sezt, in dem die Luft verdünnt wird; denn die äussere Luft drückt dann mit Gewalt den flüssigen Syrup herab.*)

*) Von der Anwendung der Luftpumpe, um Eis zu erzeugen oder Substanzen auszutrocknen. S. unten §. 389.

Aus diesen wenigen Angaben erhellt, daß die Luftpumpe ein für die Industrie sehr wichtiger Apparat werden kann.

3) Anwendung der Compressionspumpe.

§. 311. Ehemals machte man von der Compressionspumpe (127) beinahe nur Gebrauch, um die Windkammer der Windbüchsen zu laden.

Eine Windbüchse besteht nämlich aus zwei Theilen, einer Windkammer und einem angeschraubten Laufe. Die Oeffnung der Kammer ist mit einer Klappe versehen, die, wenn man abfeuern will, auf einen Augenblick vermittelst eines Hahns geöffnet werden kann. Es dringt dann ein kleines Quantum komprimirte Luft in den Lauf und gegen die Kugel. Ist die Luft bis auf das 100fache komprimirt, so kann eine Kugel von 3/8″ Durchmesser mit einer Geschwindigkeit von etwa 600′ fortgetrieben werden. Da jedesmal nur wenige Luft verbraucht wird, so kann eine beträchtliche Anzahl Schüsse nacheinander gethan werden. Die Kraft nimmt aber mit jedem Schusse ab, und nach einiger Zeit muß die Windkammer also wieder mit Luft gefüllt werden. Und dies geschieht, wenn nicht neben dem Laufe ein bleibendes Pumpenrohr angebracht ist, indem man den Lauf ab- und dagegen eine einfache Compressionspumpe anschraubt.

§. 312. In neuerer Zeit werden dergleichen Pumpen aber öfters auch angewendet um andere Luftarten zu komprimiren.

Eine solche Compression ist z. B. nöthig, wenn man Wasser mit gewissen Luftarten anschwängern will. Um künstliches Sauerwasser zu bereiten, muß man also das kohlensaure Gas, das vom Wasser verschluckt werden soll, erst bedeutend verdichten. Die Compressionspumpe muß zu dem Ende nicht nur eine gehörige Größe haben, sondern überdies so eingerichtet seyn, daß sie das Gas aus einem Behälter einzieht.

Ebenso macht man jezt in Leuchtgasfabriken von solchen Pumpen öftern Gebrauch. Obschon nämlich eine Gaslampe wenig mehr als 1 Cub.′ aus Oel bereitetes Leuchtgas per Stunde

verzehrt (448), so würden doch Gasgefäße für tragbare Lampen, wenn sie mit nicht verdichtetem Gase gefüllt wären, eine sehr unbequeme Größe erfordern, und zudem wäre es schwierig, das Ausströmen des Gases zu veranstalten. Man versieht daher jezt solche Lampen mit Behältern aus starkem Kupferblech, in denen das Oelgas auf das 20—30fache komprimirt ist, so daß eines von ⅓ Cub.′ Inhalt doch an 10′ Gas fassen kann.

4) Verdichtung der Luft durch Wasserdruck.

§. 313. So oft eine durch Wasser abgesperrte Luftmasse mit einer höhern Wassersäule in Verbindung steht, muß sie dadurch verhältnißmäßig komprimirt werden. Taucht man ein umgestürztes Gefäß unter Wasser, so wird die Luft etwas verdichtet, und um so mehr, je tiefer es eingesenkt wird. Diese Wirkung zeigt sich besonders beim Gebrauch der Taucherglocke und beschränkt denselben. In neuerer Zeit wurden öfters große unten offene Blechkasten angewendet, um Menschen bis auf den Meeresboden herabzulassen. Allein nicht nur wird die Luft darin durch das Athmen bald verdorben, sondern auch in beträchtlicher Tiefe so verdichtet, daß sie den darin befindlichen Menschen mehr und mehr beschwerlich wird. Ueberdies muß das Heraufsteigen des Wassers unter der Glocke auch hinderlich werden. In einer Tiefe von 60′ wird der Luftraum schon dreimal kleiner, und die eingeschlossene Luft dreimal dichter seyn.

Senkt man einen Blechkasten a (Fig. 65) unter Wasser, der bei i eine Oeffnung hat, so wird die Luft hier ausströmen. Auch dies ist eine Wirkung der Zusammendrückung durch die Wassersäule np. Aehnliche Kasten können demnach als Blasmaschinen dienen. Der Kasten hat dann bei o (Fig. 66) ein einwärtsgehendes Ventil, und in denselben geht eine Röhre q, die ebenfalls mit einem Ventil versehen ist. Zieht man den Kasten in die Höhe, so füllt er sich mit Luft, indem o sich öffnet, und läßt man ihn darauf niedersinken, so wird die Luft durch q und r herausgeblasen.

§. 314. Auf eine merkwürdige Art wird die Compression der Luft vermittelst einer Wassersäule in einer Vorrichtung angewendet, die man den Heronsbrunnen nennt.

A und B (Fig. 68) sind 2 übereinander stehende luftdicht geschlossene Behälter, die mit Wasser, doch nicht ganz, gefüllt werden. Ueber A ist noch ein offener Behälter C. Diese Gefäße sind, wie die Figur zeigt, mit Röhren a, b, c versehen. Schüttet man nun Wasser noch in C, so daß sich in a eine Wassersäule bildet, so drückt diese die Luft in B, und wegen der Verbindungsröhre b auch die in C zusammen; und diese komprimirte Luft wird daher das Wasser durch c, wenn der Hahn d geöffnet wird, herausspringen machen.

Ein gewisser Holl konstruirte nach diesem Prinzip in der Mitte des vorigen Jahrhunderts eine Maschine im Großen, um ohne Pumpen die Grubenwasser aus Bergwerken herauszufördern. Man nannte sie die Luftsäulenmaschine. Da sie sich jedoch nicht als wirklich vortheilhaft bewährte, so wurde von dieser sinnreichen Vorrichtung kein weiterer Gebrauch gemacht, und wir übergehen daher die nähere Beschreibung.

5) Grundgesetze der Pneumatik, oder von den Bewegungen elastischer Flüssigkeiten.

§. 315. Wenn in zwei kommunizirenden Räumen elastische Flüssigkeiten (Luft oder Dampf) von ungleicher Spannung vorhanden sind, oder der eine ganz leer ist, so fließt die dichtere in den andern Raum ab, bis die Spannung in beiden im Gleichgewicht ist. Derjenige Theil der Physik, der die aus jenem ungleichen Druck herrührenden Bewegungen untersucht, heißt insbesondere die Pneumatik. Sie verhält sich demnach zur Aerostatik oder der Lehre vom Gleichgewicht der expansiblen Flüssigkeiten, wie die Hydraulik zur Hydrostatik.

Das Fundamentalgesetz der Pneumatik stimmt im Grunde mit dem der Hydraulik überein. Sowie das Wasser in einen Raum ohne Wasser mit einer Geschwindigkeit $= 2\sqrt{gh}$ einströmt (98) wenn h die Druckhöhe des Wassers ist, so muß auch die

Luft in einen luftleeren Raum mit der Geschwindigkeit $2\sqrt{gh}$ (oder $\sqrt{60h}$) einströmen, wenn h die Höhe einer Luftsäule bezeichnet, die bei uniformer Dichtigkeit, die Druckkraft, welche die Luft hat, bewirkte.

Nun aber wissen wir, daß der Druck der Luft (bei 28″ Barometerstand) einer Wassersäule von fast 32′ gleich kommt, und daß diese Luft bei 0^0 770mal leichter als Wasser ist. (112) Eine Luftsäule von uniformer Dichtigkeit, die jenen Druck bewirkte, müßte also nicht weniger als 32×770 oder 24,640′ hoch und so groß hiemit h seyn. Und hieraus ergäbe sich eine Geschwindigkeit $= \sqrt{60 \times 24640}$ oder von 1210′, als die mit der Luft oder Dampf von 28″ Elastizität in einen völlig leeren Raum eindringen würde. *)

In der Wirklichkeit hat ein solches Einströmen einer expansibeln Flüssigkeit in einen völlig leeren Raum wohl nie, andauernd wenigstens, Statt; denn wäre irgend ein Raum auch Anfangs ganz leer, so würde er vom ersten Augenblick des Einströmens an es nicht mehr seyn. Immerhin beweist die heftige Erschütterung (und der Knall) in ähnlichen Fällen eine ungeheure Geschwindigkeit.

§. 316. Häufig ergibt sich aber ein Abfließen dichterer Luft in minder dichte oder die gewöhnliche Luft, und die Erfahrung bestätigt vollkommen die Regel, die aus jenem ersten Gesetze zur Berechnung der Geschwindigkeit in diesen Fällen abgeleitet wird.

---

*) Ist dieses Gesetz richtig, so muß, was seltsam scheint, dichtere, sowie dünnere Luft mit der gleichen Geschwindigkeit in einen leeren Raum einströmen. Es hat nämlich z. B. zweimal dichtere Luft allerdings doppelte Druckkraft, allein da sie auch zweimal schwerer ist, so muß die Höhe der Säule, die diesen doppelten Druck bewirkt, oder h gleich bleiben. Bleibt aber h unverändert, so muß auch die Geschwindigkeit ($\sqrt{4gh}$) dieselbe bleiben. In der That äussert aber dann auch diese zweifach drückende Luft doppelte Kraft, denn es bewegt sich nun zweimal so dichte, also zweimal so viel Luft.

Offenbar hängt diese Geschwindigkeit von dem Unterschiede der Elastizität ab, und dieser wird durch die Barometerhöhen gemessen.

Ist H die Barometerhöhe der dichtern, und h die der dünnern Luft; und ist c die Geschwindigkeit, mit der die dünnere in den leeren Raum strömte, so ergibt sich die Geschwindigkeit, mit der die dichte in die dünne einströmt, oder

$$c' = c\sqrt{\frac{H-h}{H}}.$$

Gesetzt z. B. $H = 31''$ und $h = 28''$, so ist nach Obigem $c = 1210.$

$$\text{und } c' = 1210\sqrt{\frac{3}{31}}.$$

$$\frac{3}{31} = 0{,}0987 \text{ und } \sqrt{0{,}0987} = 0{,}312$$

$$1210 \times 0{,}312 = 376 = c'.$$

Auch hier hat indessen, wie beim Ausströmen tropfbarer Flüssigkeiten, die Beschaffenheit der Oeffnungen auf die Geschwindigkeit oder die Menge ausfließender Luft Einfluß.

Bei Oeffnungen in einer dünnen Wand ist sie nur etwa 0,64 (²/₃), bei kurzen Röhren nur ⁹/₁₀ bis 0,93 ꝛc. der theoretischen. (S. die vierte Abtheilung.)

§. 317. Aus der schnellen Bewegung der Luft, die schon ein geringer Unterschied des respektiven Druckes erzeugt, erklären sich viele Erscheinungen in der Natur, das schnelle Steigen verdünnter Luft, und namentlich die Entstehung der Winde.

In der That zeigten zwei aneinandergrenzende Luftmassen, die eine 28″, die andere 27″ Druck, so müßte jene mit ausnehmender Geschwindigkeit schon in diese einströmen.

$$\text{Denn } c' = 1210\sqrt{\frac{1}{28}} = 1210 \cdot \frac{2}{11} = 220'.$$

Diese Geschwindigkeit wäre weit größer als die des heftigsten Orkans. Glücklicherweise hat aber eine so schnelle Bewegung schon darum nicht Statt, weil die Luftmassen allmählig in einander übergehen.

Für den Industriellen ist die Kenntniß dieser Gesetze besonders wichtig, zur richtigen Würdigung der Dampfmaschinen und Dampfleitungen, der Gasometer (300) und namentlich der Gebläse, wie der folgende Artikel zeigen wird.

6) Von den Gebläsen.

§. 318. Jeder weiß, daß man oft zur Belebung des Feuers Luft in dasselbe bläst, weil diese vermöge ihres Sauerstoffgehalts eine Bedingung des Brennens ist.

Im Kleinen bedient man sich zu diesem Behufe mancherlei Arten von Blasbälgen, und in einzelnen Fällen auch gewisser Blasmaschinen, wodurch man statt Luft brennbare Dämpfe oder reines Sauerstoffgas, oder wohl gar Knallgas in das Feuer blasen kann.

Die Vorrichtungen, die hingegen im Großen und namentlich zum Betreiben von Schmelzöfen zu diesem Zwecke angewendet werden, heißen Gebläse.

Es gibt mancherlei Arten von Gebläsen:

1) Große lederne Balggebläse, und diese sind bald einfach, bald doppelt.

2) Hölzerne Balggebläse.

3) Hölzerne Kolbengebläse oder Kastengebläse.

4) Metallene Kolbengebläse oder Cylindergebläse.

5) Hydraulische (oder Baader'sche) Gebläse, mit Kasten, die in einen Wasserbehälter eintauchen. (314)

6) Kettengebläse, wo durch ein Rad eine endlose mit Brettern besezte Kette bewegt wird, welche, indem sie durch einen Kanal gehen, Luft mit fortziehen.

7) Wassertrommeln, bei welchen die Luft durch den Fall des Wassers in senkrechten Röhren mit fortgerissen wird.

8) Wasserschnecken, die, archimedischen Schrauben ähnlich, Luft schöpfen und durch einen Kanal herauspressen.

Wir betrachten hier nur die Kolbengebläse, theils weil diese in den meisten Fällen die brauchbarsten sind, theils weil ihre Verrichtungen sich am ehesten berechnen lassen.

§. 319. Bei den Kastengebläsen ist der Kolben eine quadratische Tafel, die dicht in einen meist hölzernen Kasten paßt, und indem sie darin auf- und absteigt, abwechselnd äussere Luft in den Kasten einzieht, und diese wieder durch eine andere Oeffnung hinaustreibt. Bei den Cylindergebläsen ist der Kolben kreisrund und arbeitet, wie der einer Pumpe, in einem metallenen (meist gußeisernen und wohlausgedrehten) cylindrischen Stiefel.

Die Kolben sind entweder einfach oder doppelt wirkend. Im ersten Falle hat nur beim Auf- oder Niedergange des Kolbens ein Ausblasen Statt, und um einen einigermaßen kontinuirlichen Luftstrom zu erhalten, sind zwei Maschinen erforderlich. Bei diesen ferner ist das eine Ende des Stiefels offen, und der Kolben selbst gewöhnlich durchbrochen, oder mit einer Oeffnung und einem Ventil versehen.

Bei Doppeltwirkenden ist hingegen der Kolben ganz und jedes Ende des Stiefels geschlossen; die Kolbenstange muß durch eine Stopfbüchse gehen, und für eine vertikalbleibende Bewegung gesorgt seyn; derselbe Kolben bewirkt aber sowohl beim Auf- als beim Abwärtsgehen ein Ausblasen von Luft.

Fig. 69 zeigt ein Cylindergebläse mit doppeltwirkendem Kolben. a ist der Kolben, b die Kolbenstange, die durch die Stopfbüchse c geht. dd der Cylinder. Durch die Ventile (und Röhren) e und f strömt äussere Luft hinein, wenn der Kolben sich entfernt. Durch die Ventile g und h wird die Luft in die Blaseröhre i ausgetrieben, wenn der Kolben sich gegen diese Ventile bewegt. Der Kolben ist gut geliedert, damit er keine Luft

durchlasse, und wie die Stopfbüchse eingeschmiert, damit die Reibung vermindert werde.

§. 320. Leicht ist zu finden, wieviel Luft ein solches Gebläse in einer Minute z. B. liefert, und mit welcher Geschwindigkeit diese (im Durchschnitt) durch i ausströmen muß.

Macht der Kolben per Minute 20 Hin- und Hergänge von 3′, so legt er einen Weg von 3 × 40 oder 120′ zurück; und hat er eine Oberfläche von 5 □′, so muß er in einer Minute 5 × 20 oder 600 Cub.′ äussere Luft einziehen, und eben so viele (wenn keine entweicht) durch i hinausblasen. Und da 10 Cub.′ per Sekunde ausströmen müssen, so muß die Geschwindigkeit um so größer seyn, je kleiner der Querschnitt von i ist. Beträgt dieser $^1/_{10}$ □′, so wird die Geschwindigkeit 100′ per Sekunde seyn; beträgt er nur $^1/_{20}$ □′, so ist die Geschwind. = 200′ u. s. w.

Kennt man das Luftvolum, so läßt sich daraus auch leicht die Masse Sauerstoff berechnen, die ein Gebläse liefert.

Bei einer Dichtigkeit von 28″ (Barometerstand) und einer Temperatur von 0°, wiegt 1 Cub.′ Luft $^{70}/_{770}$ oder $^1/_{11}$ Pfund. (franz. M.) 600 Cub.′ wägen also $54^6/_{11}$ Pf. und diese enthalten (dem Gewicht nach) etwa 23 % Sauerstoff oder $12^3/_5$ Pf.

In einer Stunde lieferte jenes Gebläse hiemit $60 \cdot 12^3/_5$ oder 756 Pf., und da 2 Pf. Kohle 5 Pf. Sauerstoff zum Verbrennen bedarf, so reichte es zur Verbrennung von c^a 300 Pf. Kohlen hin, wofern aller Sauerstoff verzehrt würde.

Offenbar wird jedoch dasselbe Gebläse nach der Beschaffenheit der Luft bald mehr, bald weniger Sauerstoff liefern. Der Sauerstoffgehalt der Luft ist zwar überall ungefähr derselbe, allein die Dichtigkeit und hiemit das Gewicht der Luft ändert je nach dem Barometerstande und nach der Temperatur. Für 1° R. über oder unter 0 wird das Gewicht um $^1/_{213}$ kleiner oder größer.

Bei einem Barometerstande von 26″ ist das Gewicht von 1 Cub.′ Luft also um $^2/_{28}$ oder $^1/_{14}$ kleiner; bei 25″ (wie an manchen hochliegenden Orten) um mehr als $^1/_{10}$ kleiner.

Ebenso ist es im Sommer bei 21° Wärme um $^{21}/_{213}$ oder $^1/_{10}$ kleiner, und umgekehrt bei 7° unter 0 um $^1/_{30}$ größer.

Ist daher obiges Gebläse nach einem Druck von 28″ und einer Temperatur von 0° berechnet, so wird es in der Regel etwas schneller arbeiten müssen, wenn es per Stunde 756 Pf. Sauerstoff liefern soll.

§. 321. In den meisten Fällen kommt es aber nicht bloß darauf an, daß in einer gegebenen Zeit eine gewisse Menge Luft geliefert werde, sondern dieselbe muß zugleich mit einer gewissen Geschwindigkeit einströmen und demnach die Blasöffnung (oder Form) eine verhältnißmäßige Weite haben.

In einem Hochofen z. B. muß die Luft durch eine ziemliche Lage von Erz und Kohlen durchziehen. Je höher der Ofen ist, desto größer muß die Geschwindigkeit der Luft seyn. Sie muß ferner größer seyn, wenn harte als wenn weiche Kohlen, noch größer, wenn Cokes zum Betrieb dienen u. s. w.

Ferner soll die Luft ununterbrochen und mit möglichst gleicher Geschwindigkeit einströmen.

Betrachten wir nun, auf welche Weise der Kolben die Luft hinaustreibt, so ersieht man leicht, daß, wenn z. B. 10 Cub.′ Luft in einer Sekunde durch eine Oeffnung von $^1/_{30}$ □′ getrieben wird, die Luft doch keineswegs gleichförmig mit 300′ Geschwindigkeit ausströmen wird.

Denn 1) damit die Luft eine solche Geschwindigkeit annehmen kann, muß sie eine bestimmte Elastizität haben und vorerst komprimirt werden. Der Kolben wird Anfangs daher hauptsächlich nur diese Verdichtung bewirken und die Luft mit ungleich geringerer Geschwindigkeit austreiben. 2) Aber wird die Geschwindigkeit der verdichteten Luft nicht bis auf 300′ (in obigem Fall) steigen können, denn eben weil die Luft dann dichter ist, würde bei dieser Geschwindigkeit zuviel ausströmen.

Man sieht hieraus, daß 1) auch bei doppelt wirkenden Kolben kein gleichförmiger Abfluß der Luft erzeugt wird, und 2) daß sich die wirkliche Geschwindigkeit nicht auf die obige Weise

aus dem Verhältniß der Kolbenfläche zur Ausflußmündung finden läßt.

§. 322. Um daher eine möglichst gleichförmige Geschwindigkeit zu erhalten, muß man die Luft vorerst in sogen. Regulatoren treten lassen, und um die wirkliche Geschwindigkeit des Luftstromes auszumitteln, muß man dieselbe aus dem Dichtigkeits-Verhältnisse der Luft berechnen.

Unter einem Windregulator versteht man einen Behälter, in den die Luft zuerst gelangt, bevor sie in die eigentliche Blaseröhre oder die Düse kömmt.

Ist dieser Behälter groß, und seine Capazität z. B. die 20 oder 30fache des Cylinders, so ist klar, daß die Dichtigkeit der darin befindlichen Luft durch die momentanen Ungleichheiten des Gebläses nicht merklich verändert werden kann.

Da so große Behälter aber oft unbequem sind, so wendet man gewöhnlich kleinere an, und bewirkt dann einen konstanten Druck vermittelst eines Gewichtes. Es gibt zweierlei solcher Regulatoren, trockene und Wasserregulatoren.

§. 323. Die trockenen bestehen aus einem Cylinder a (Fig. 67), indem ein gut schließender und mit einem Gewicht beschwerter Kolben b spielt. Die Luft kommt durch c aus dem Cylinder unter den Kolben, und geht durch d nach der Düse. Wirkt augenblicklich das Gebläse stärker, so hebt sich der Kolben; und ebenso sinkt er, wenn jenes weniger Luft liefert. Die Luft im Regulator erleidet hingegen stets ungefähr denselben Druck und hat daher eine ziemlich gleiche Dichtigkeit. *)

Der Wasserregulator besteht aus einem Kasten a (Fig. 26), der (wie ein Gasometer §. 300) in Wasser taucht. Durch e e kömmt die Luft aus dem Gebläse, und durch f fließt sie nach der Düse ab. Hat der Wind um 4′ Wasser mehr Spannung als

*) Ungefähr; denn beim Steigen muß die Luft noch die Reibung überwinden, und diese vermindert hingegen den Druck beim Sinken. Ueberhaupt sind dergleichen Regulatoren, wenn sie keine Luft verlieren sollen, kostbar.

die äussere Luft, so wird das innere Niveau um 4′ niedriger stehen, als das äussere. Tritt mehr Luft in den Kasten als abfließt, so sinkt jenes und dieses steigt — der Abstand wird hiemit größer und so auch der Druck. Das Umgekehrte geschieht wenn das innere steigt. Damit also die Veränderungen in solchen Regulatoren unbedeutend bleiben, müssen sie ziemlich geräumig seyn, und auch die äussere Cisterne beträchtlich größer. Sie haben aber den Vortheil, daß keine Luft verloren geht und die Reibung wegfällt, und die Berührung der Luft mit Wasser zeigt keinen Nachtheil.

Wendet man keinen Regulator an, so ist nur dann ein gleichförmiger Luftzug zu erhalten, wenn drei einfache oder zwei doppeltwirkende zusammenblasen, und zwar so, daß das eine vollbläst, wenn das andere am Anfang oder Ende des Hubs ist.

§. 324. Um nun die Geschwindigkeit des Luftstromes zu berechnen, wird entweder mit dem Regulator selbst, oder mit der Röhre, die nach der Düse führt, ein Windmesser oder Manometer (120) mit Wasser oder Quecksilber in Verbindung gebracht.

Ist H die Höhe des Barometers und h die des Windmessers, so ist die Geschwindigkeit

$$v = 1216 \sqrt{\frac{h}{H + h}} \text{ in Fußen}$$

$$\text{oder } v = 395 \sqrt{\frac{h}{H + h}} \text{ in Metern. *)}$$

Beispiel. Gesezt, der Barometer stehe auf 27″ und ein Wasserwindmesser auf 4′; so ist jener Stand auf Wasser reduzirt $= 27'' \times 13{,}6 = 30\frac{1}{2}'$ (H)

$$\text{und } v = 1216 \sqrt{\frac{4}{34\frac{1}{2}}} = 1216 \times 0{,}34 = 413'.$$

---

*) Will man zu größerer Genauigkeit den Einfluß der Temperatur gleich in die Rechnung bringen, so wäre für t Grade R $\frac{h}{H + h}$ mit $1 + 0{,}0047\,t$ und für Centes. Grade mit $1 + 0{,}0037\,t$ zu multipliziren.

§. 325. Wollen wir die erforderliche Luftmenge berechnen, so ist zu beachten, daß Luft von 27″ um $\frac{1}{27}$ leichter als solche von 28″ ist, wovon 1 Cub.′ $\frac{1}{11}$ Pf. wiegt.

Gesezt also, der Ofen bedürfe per Sekunde 10 Cub.′ kalte Luft von 28″ Druck, so wird er, wenn die Luft 8 — 10° warm ist, wenigstens $10\frac{1}{2}$ Cub.′ von jener Luft erfordern.

Da umgekehrt die eingeblasene Luft aber im Verhältniß von $34\frac{1}{2} : 30\frac{1}{2}$ dichter ist, so wird das Volum auf $\frac{30\frac{1}{2}}{34\frac{1}{2}}$ ꝛc. $10\frac{1}{2}$ $= 9\frac{1}{3}$ Cub.′ reduzirt.

Und der Querschnitt der Düse muß daher $\frac{9\frac{1}{3}}{413}$ □′ oder c^a $\frac{1}{44}$ □′ groß seyn, oder $\frac{1}{40}$ □′, weil der Luftstrom sich etwa um $\frac{1}{11}$ kontrahirt. Dann werden nämlich jene $9\frac{1}{3}$ Cub.′ dichte Luft mit 413′ Geschwindigkeit in einer Sekunde ausströmen.

Gesezt ferner, der Kolben bewege sich mit einer Geschwindigkeit von 3′ per Sekunde, so wird die Fläche desselben $\frac{10\frac{1}{2}}{3}$ $= 3\frac{1}{2}$ □′ groß seyn müssen, und der Druck, den er ausübt, wenigstens dem Druck, den die komprimirte Luft erleidet, oder 4′ Wasser gleich kommen müssen. Er wird also per □′ $4 \times 70 = 280$ Pf. und im Ganzen $3\frac{1}{2} \times 280$ oder 980 Pf. betragen.

Das Moment der Kraft ist also $= 3 \times 980$ oder 2970 Pf. 1′ hoch per Sek. zu setzen, und rechnet man für die Reibung $\frac{1}{3}$ hinzu, nahe an 4000 Pf. 1′ hoch, oder per Min. = 240,000 Pf.; und die Pferdekraft zu 32,000 Pf. gerechnet, erforderte dieses Gebläse also eine Kraft von $7\frac{1}{2}$ Pferden.

Gewöhnlich wird man indessen auch bei der besten Construktion fast $\frac{1}{3}$ mehr Kraft anzuwenden haben.

§. 326. Von Blasemaschinen macht man übrigens nicht bloß zum Beleben des Feuers Gebrauch. So wendet man z. B.

bei Orgeln Blasebälge an, und auch hier wird gewöhnlich die Luft vorerst in einen Kasten (die Windlade) getrieben, um ein regelmäßigeres Blasen zu erhalten. (145)

Neulich hat man ferner eine einfache Blasevorrichtung zum Aufblasen des Glases eingeführt. Eine solche ist vornehmlich von Nutzen, um das Crystallglas in Formen zu blasen; denn es wird dazu eine ziemliche Kraft erfordert, und das Blasen mit dem Munde ist gefährlich, wegen der Hitze der Luft, wenn je welche inspirirt wird.

Vierter Abschnitt.

Industrielle Wärmelehre.

1) Wirkungen der Ausdehnung fester Körper durch die Wärme.

§. 327. Feste Körper werden durch die Wärme zwar nur sehr wenig ausgedehnt (116); die Wirkungen dieser Volumänderung sind aber oft sehr bedeutend, besonders da sie mit großer Energie vor sich geht.

Das Gußeisen dehnt sich, wenn es um 10^0 C wärmer wird, nur um $^1/_{9000}$ aus. Unter dem Boden laufende Wasserleitungen sind aber wohl einem Temperaturwechsel von 20^0 ausgesezt; und eine Länge von 450′ kann also eine Veränderung von $^1/_{10}$′ hervorbringen, die mehr als hinreichend wäre, an vielen Stellen Fugen und so das Ausfließen des Wassers zu veranlassen. Es wird daher nöthig, die Röhren hie und da so zu verbinden, daß sie sich, ohne Wasser durchzulassen, etwas verschieben können. Solche Vorrichtungen heißen Compensatoren.

Bei Dampfröhren kann der Temperaturwechsel an 100^0 betragen. Eine 90′ lange Röhre von Gußeisen wird sich also um $^1/_{10}$′, eine 116′ lange von Kupfer um $^1/_5$′ verlängern oder verkürzen. (116) Auch sie müssen demnach eine Verschiebung gestatten.

Bei kurzen Röhren sogar, wenn sie an beiden Enden festgemacht, z. B. eingemauert sind, und sehr stark erhizt werden

(wie Heizröhren oder die der Röhrenkessel), kann die Ausdehnung nachtheilig werden, so daß sie sich losreißen. In allen diesen Fällen sucht man daher krumme Röhren (Fig. 33) anzuwenden, die eine Ausdehnung gestatten, ohne bei a und b sich zu verrücken.

§. 328. Einen merklichen Einfluß kann jene Aenderung auf den Gang einer Pendeluhr haben. Muß das Pendel, das die Zeit mißt, genau 440''' lang seyn, damit es in einer Stunde 3600 Schwingungen mache (181), und hat es bei 10⁰ diese Länge, so wird ein messingenes bei 30⁰ um $^{20}/_{54000}$ oder $^{1}/_{2700}$ länger, oder etwa $440^{1}/_{6}$''' lang seyn, und ein solches in der Stunde nur etwa 3596 Schwingungen machen. Bei 30⁰ C wird die Uhr also in 24 Stunden um mehr als $1^{1}/_{2}$ Minute zu langsam, und bei — 10⁰ um eben so viel ungefähr zu geschwind gehen. Bei eisernen Pendeln ist die Wirkung geringer. Pendel von ganz trockenem Holz wären, wenn es durch die Feuchtigkeit nichts litte, noch weniger Veränderungen ausgesezt. Auch bei Taschenuhren wird der Gang durch die Wärme geändert, weil sie Einfluß auf die Unruhe (den Schwungring und die Spiralfeder) hat.

Um astronomischen Uhren, die äusserst genau geben und doch in ungeheizten Zimmern stehen müssen, einen völlig gleichförmigen Gang zu verschaffen, hat man verschiedene Einrichtungen ersonnen, wodurch jener Einfluß der Temperatur von selbst corrigirt wird. Solche Pendel heißen Compensationspendel.

Geschmolzenes Eisen oder Kupfer zieht sich um etwa $^{1}/_{100}$ zusammen, wenn es erstarrt und kalt wird. Soll also eine Kugel genau 100''' im Durchmesser haben, so muß sie 101''' dick gegossen werden, und eine Röhre, die 25' lang seyn soll, in einer Form, die $25^{1}/_{4}$' lang ist.

Das Volum der Steine ändert sich, wenn sie wärmer oder kälter werden, nur sehr wenig. Nach den neuesten Versuchen ändert sich die Länge bei einem Granitstein von 5' bei einem Temperaturwechsel von 50⁰ C nur um 0,026''; bei Marmor um 0,032'' und bei Sandstein um 0,092''. Immerhin ist der Einfluß dieser Veränderung auf Quadermauern oft sehr sichtbar.

§. 329. Da die Ausdehnung, sowie die Contraktion, mit großer Kraft vor sich geht, so kann sie, hat sie unregelmäßig Statt, ein Bersten des Körpers verursachen.

Gießt man z. B. ein Rad, dessen Kranz ungleich massiver ist als die Radien, so erkalten diese weit eher, und bei der spätern Contraktion des Kranzes ergeben sich daher oft Sprünge.

Körper springen um so leichter, je spröder und je schlechtere Wärmeleiter sie sind.

Töpferwaaren springen leicht und noch leichter springt Glas bei plötzlicher Erhitzung oder Erkältung. Daher die Nothwendigkeit der Kühlöfen. (194) Um gläserne Gefäße ohne Gefahr über Feuer zu erhitzen, werden sie mit Lehm ꝛc. beschlagen oder in ein Sandbad gesezt.

Dünnes Glas erträgt einen schnellen Wechsel eher als dickes, weil alle Theile leicht durch und durch warm oder kalt werden. Grünes Glas erträgt ihn eher als weißes, weil dieses in der Regel etwas spröder ist. Poröse Thonwaaren gehen gewöhnlich besser in's Feuer als ganz dichte; daher Tiegel aus einer ziemlich porösen Masse bestehen. (270)

Da Glas an der Stelle, wo es mit einem glühenden Körper berührt wird, leicht springt, so kann man (bei gehöriger Geschicklichkeit) dieses Mittel anwenden, um Glastafeln (wie gegossene Spiegeltafeln) zu spalten, oder um Retorten und Flaschen nach gewissen Linien zu zersprengen. Man kann z. B. eine Schaale aus einer Retorte herausschneiden, wenn man diese auf einen glühenden eisernen Ring sezt.

Diese Wirkung eines plötzlichen Temperaturwechsels läßt sich noch auf andere Weise benutzen.

Wirft man glühend gemachte Kieselsteine in kaltes Wasser, so erhalten sie durch und durch unzählige Sprünge, so daß sie sich darauf leicht zerstampfen und zerpulvern lassen. Dieses Mittel wenden die Glas- und Steingutfabriken an, um aus Quarzgeröllen und Feuersteinkugeln ein Kieselmehl zu bereiten. Löscht man glühend gemachte Bergkrystalle in gefärbten Flüssigkeiten ab, so werden sie farbicht, indem die Flüssigkeit sich in die

vielen entstehenden Risse hineinzieht. Nach demselben Prinzip erleichtert man das Wegsprengen des harten Pfannensteins vom Boden der Salzpfannen. Die geleerten Pfannen werden durch ein Strohfeuer stark erhizt, und dann durch Bespritzen mit kaltem Wasser plötzlich erkältet, so daß die Kruste eine Menge Risse bekommt. *)

§. 330. Einige Körper machen bei der Erwärmung eine scheinbare Ausnahme, weil andere Kräfte zugleich eine entgegengesezte Wirkung hervorbringen.

Die Feuchtigkeit dehnt das Holz aus. (37) Beim Trocknen (mit oder ohne künstliche Wärme) zieht es sich daher zusammen oder schwindet. Ungleiches Schwinden veranlaßt das Werfen oder Verziehen, sowie oft Risse. So entstehen Fugen in Holzböden, die sich bald erweitern, bald verengern.

Trocknet ein nasses Brett a (Fig. 34) auf einer Seite viel schneller als auf der andern, so krümmt es sich, weil die trocknende sich mehr verkürzt als die andere. Legt man es an die Sonne, so daß es von oben trocknet, so krümmt es sich wie b, liegt es auf einem warmen Ofen, so krümmt es sich wie c.

Ebenso schwindet beim Trocknen feuchter Thon, und ausserdem noch beim Brennen, vielleicht weil die Theile sich zu verglasen streben und sich daher desto mehr nähern, je größer die Hitze ist. — Ein Ziegel, der 12″ lang werden soll, muß wenigstens 13″ lang geformt werden.

Zugleich ist langsames Trocknen nöthig, um Risse zu vermeiden. Gefäße (zumal dünne porzellanene) verziehen sich leicht, weil es beim Formen fast unmöglich ist, alle Theile völlig gleich dicht zu machen, und die dichtern dann verhältnißmäßig weniger schwinden.

Aus dem Aufschwellen des Holzes, wenn es naß wird, erklärt sich Mancherlei. Ineinander geschobene Theile von Holz

*) Man soll dieses Mittel sogar anwenden, um in geschliffenem Glas eine Menge feiner Sprünge und dadurch ein prismatisches Farbenspiel (227) zu erzeugen.

sitzen dann oft so fest, daß sie sich nicht anders trennen lassen, als wenn man sie austrocknet.

Bringt man einen vorerst gewaltsam zusammengepreßten Körper von Holz in eine Flasche, und läßt man ihn darauf Wasser einsaugen, so schwillt er dergestalt auf, daß er auf keine Weise mehr herausgenommen werden kann. Werden Figuren in Holz eingeprägt und dasselbe wieder glatt gehobelt, so erheben sich die vertieften Stellen, wenn das Holz benezt wird. Durch ein ähnliches Verfahren machen die Türken das körnige Chagrinleder. Sie drücken in die weichen Häute harte Samenkörner ein, schleifen sie nach dem Trocknen eben und gerben sie darauf.

§. 331. Daß auch das Wasser, wenn es gefriert, sich ausdehnt und spezifisch leichter wird, ist früher bemerkt worden (163); und auch diese Dilatation hat mit ausnehmender Energie Statt.

Flaschen mit Wasser bersten, wenn es darin gefriert. Bomben von 2″ Dicke sind schon dadurch gesprengt worden. Diese Ausdehnung ist Wasserleitungen, Brunntrögen u. dgl. oft sehr gefährlich und bewirkt vielerlei Zerstörungen in der Natur. Ziegel und Steine, in deren Risse Wasser dringt, verwittern; Spalten in Felsen oder Bäumen erweitern sich immer mehr, wenn die darin befindliche Feuchtigkeit im Winter gefriert. Man hat diese Wirkung schon benuzt, um schiefrige Gebirge in Tafeln zu zerspalten.

Da das Eis etwa um $1/_{10}$ leichter ist als das Wasser, so schwimmt es darauf. Sieht man im Eismeere schwimmende Eismassen, die viele 1000 Cubikklafter groß sind, so muß die eintauchende Masse noch wenigstens 9mal größer seyn.

2) Ausdehnung der Flüssigkeiten durch die Wärme.

§. 332. Auch die tropfbaren Flüssigkeiten dehnen sich aus, wenn sie wärmer werden, und zwar noch mehr als die festen Körper. (165)

Eine erste Folge ist, daß sie spezifisch leichter werden, was denn bei allen aräometrischen Proben gar sehr zu berücksichtigen ist.

Eine andere Folge eben dieses Leichterwerdens ist, daß die wärmern Theile einer Flüssigkeit in den kältern steigen.

Wir haben schon gesehen, wie dieser Umstand hauptsächlich die Erhitzung aller Flüssigkeiten begünstigt. (165) Dieser ungleiche Druck läßt sich aber noch auf andere Weise benutzen.

In manchen Fällen kann heißes Wasser zur Erwärmung dienlich seyn; da siedendes Wasser in einem kleinen Raume eine bedeutende Menge Wärme enthält.

Während 1 Pf. siedend heißes Wasser auf 20° erkältet, gibt es 80 W ab, und diese können 4 × 8 Pf. Luft oder 32 × 11 Cub.′ (= 352 Cub.′) um 10° erwärmen (320), da die Luft 4mal weniger Kapazität als das Wasser hat. (172)

§. 333. Auf folgende Weise läßt sich nun aber eine beständige Cirkulation des heißen Wassers, um damit einen Raum zu wärmen, herstellen.

Ist a (Fig. 35) ein mit Wasser gefüllter Kessel, und steht derselbe mit den Röhren b, c, d, e in Verbindung, die ebenfalls voll Wasser sind, so wird die Wassersäule in a b fortdauernd viel wärmer und daher etwas leichter seyn, als die in der Röhre c d e, weil diese sich, zumal wenn die Fläche sehr vergrößert ist, in dem Raume N, durch den sie geht, abkühlt. Es muß hiemit die kältere Wassersäule stärker drücken und fortwährend also das abgekühlte Wasser durch e in den Kessel fließen, und das darin heiß gewordene in b aufsteigen. Ist die Feuerung je nach der Abkühlung berechnet, so wird das Wasser nie zum Kochen kommen, jeglichen Falls aber durch eine Oeffnung bei f der sich bildende Dampf entweichen können. Diese Heitzungsart kann zuweilen wenigstens, besonders wenn irgend ein Raum sehr gleichförmig erwärmt werden soll (wie z. B. bei künstlichen Brütezimmern), von Nutzen seyn.

Eine ähnliche Cirkulation läßt sich bei Bauchegefäßen herstellen (Fig. 37). Ist A ein hoher Wasserkessel, und sind B und C Bauchegefäße, so wird, sind die Hähne offen, fortwährend siedende Lauge durch die Hähne a in die Bottiche sich ergießen, die erkältete aber durch die Hähne b wieder in den Kessel fließen.

Noch bequemer ist folgende Vorrichtung, bei welcher indessen hauptsächlich der Dampfdruck das Heben der Lauge bewirkt. (Fig. 36.)

Man bringt die zu bauchenden Tücher oder Garne in einen Bottich a, der auf einem niedrigen Kessel c steht und einen durchlöcherten Boden b hat. Ist die Lauge in c siedend, so werden die Dämpfe durch den Zeug, der den Durchgang versperrt, etwas komprimirt, und sie drücken daher die kochende Lauge durch die Röhre d, so daß sie sich beständig bei e über die Tücher verbreitet.

3) Von der Heizkraft der Brennmaterialien und ihrer zweckmäßigen Benutzung.

§. 334. Von den verschiedenen Mitteln, um Wärme zu erzeugen, wenden wir fast ausschließlich das Verbrennen gewisser nicht zu kostbarer Materialien an. (180)

Die vornehmsten Brennstoffe sind: Holz, Steinkohlen, Torf und die daraus erzeugten Kohlen.

Unter absoluter Heizkraft versteht man die Menge Wärme, die sie, während sie ganz verbrennen, entbinden.

Man bestimmt sie nach der Menge Wasser, die dadurch zum Sieden gebracht oder verdampft, oder nach der Menge Eis, die dadurch geschmolzen werden kann, wenn keine Wärme verloren ginge. Vorrichtungen zu solchen Versuchen heißen Calorimeter. (174)

Nennt man W die erforderliche Menge Wärme, um 1 Pf. Wasser um 1° C heißer zu machen, so braucht man 100 W, um 1 Pf. kaltes Wasser von 0° zum Sieden zu bringen.

Es bedarf ferner: (176)

540 W um 1 Pf. siedendes Wasser in Dampf zu verwandeln, und

75 W um 1 Pf, Eis zu schmelzen.

Findet man also, daß z. B. 1 Pf. eines gegebenen Brennstoffs, wenn er total verbrennt und alle dabei frei werdende Wärme benuzt wird, 30 Pf. Wasser von 10^0 C auf 100^0 erwärmen kann, so muß seine absolute Kraft $= 90 \times 30 = 2700$ W seyn. Und 1 Pf. würde hiemit, wenn aller Wärmeverlust zu vermeiden wäre, $\frac{2700}{540}$ oder 5 Pf. kochendes und $\frac{2700}{640}$ oder $4\frac{1}{4}$ Pf. kaltes Wasser verdampfen können.

§. 335. Viele Versuche ergaben nun für 1 Pfund

	W
völlig trocknes Holz . . .	3500
gewöhnlich trocknes Holz .	2600
Holzkohle	7200
gute Steinkohle	6000
Cokes	6500
Torf (bester)	12 — 1600

Diese verschiedenen Arten von Brennmaterialien kommen indessen von sehr ungleicher Beschaffenheit vor, und darum weicht auch ihre Brennkraft von der angegebenen oft bedeutend ab.

Die Erfahrung lehrt, daß jede Holzart in völlig trocknem Zustande ungefähr die gleiche Heizkraft besizt; daß alles Holz aber nur durch künstliche Wärme oder durch Ausdörren von aller Feuchtigkeit befreit werden kann. Alles andere Holz enthält mehr oder weniger Wasser.

Frisch gefälltes Birkenholz enthält an 30, Eichenholz 35, Buchen-, Erlen- und Fichtenholz an 40 und Tannenholz an 45 % Wasser. Liegt es 8 — 12 Monate an der Luft, so beträgt der Wassergehalt noch an 20 % und im trockensten Holze noch 10 %.

§. 336. Feuchtes Holz hat in der Regel weniger Brennkraft:

1) weil die Feuchtigkeit keine Wärme erzeugt;

2) weil zur Verdunstung derselben Wärme noch verbraucht wird, und

3) weil sie leicht die totale Verbrennung hindert. *)

Nach Obigem geben 5 Pf. völlig trocknes Holz 5 × 3500 = 17,500 W. Enthält das Holz aber 20 % oder 1 Pf. Wasser, so geben 5 Pf. nur 4 × 3500 oder 14,000 W. Ferner muß 1 Pf. Wässerigkeit verdunstet werden, was 640 W konsumirt. Der Nutzeffekt wird also auf 13,360 W vermindert, und bleiben $\frac{1}{20}$ der Holztheile unverbrannt (als Kohle und Rauch), so reduzirt er sich auf 12,692 W oder für 1 Pf. auf 2560 W.

1 Pf. Holz, das nur an der Luft trocken geworden, kann also nicht wie völlig ausgedörrtes 35 Pf., sondern nur $\frac{2560}{100}$ oder $25\frac{1}{2}$ Pf. Wasser von 0^0 zum Sieden bringen.

Gewöhnlich wird das Holz nach Klaftern verkauft. Die Brennkraft von einem Klafter ist dann noch sehr verschieden, weil

1) eine Holzart bei gleichem Volum weit mehr wiegt als eine andere, und
2) weil sich, je nachdem die Scheite krümmer, ästiger und dünner sind, mehr oder weniger leere Zwischenräume ergeben.

Die Zwischenräume betragen meist zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{3}$. Ein Klafter 3′ langen Holzes enthält also statt 108 (6·6.3) nur zwischen 81 und 72 Cub.′ Holz.

Beim Austrocknen schwindet das Holz, doch nicht sehr beträchtlich. Ein Klafter frischgefälltes ist daher schwerer als ein Klafter trocknes, dieses hat aber mehr Brennkraft.

Das Gewicht von einem Klafter Holz wird, was aus Obigem zum Theil erklärbar ist, sehr verschieden angegeben.

Nach Einigen wiegt bei guter Scheitung trockenes

	1 Stère.	1 Wiener Klafter. **)
Eichenholz	490 Kil.	3300 Pf.
Buchenholz	400 „	3311 „
Fichtenholz	310 „	2680 „

*) Unter gewissen Umständen scheint Feuchtigkeit Wärme zu erzeugen, indem die Wassertheile erst in Sauerstoff und Stickstoff zersetzt werden und dann wieder verbrennen. Neulich hat auch der Engländer Rutter gezeigt, daß sich aus flüssigen Brennstoffen eine große Hitze erzeugen lasse, wenn man sie (wie z. B. Theer) zugleich mit Wasser in das Feuer tröpfeln läßt.

**) Dreischühiges Holz, also 108 Cub.′ in Wiener Pfunden.

	1 Stère.	1 Wiener Klafter.
Birkenholz	428 Kil.	3370 Pf.
Tannenholz	— „	2360 „
Erlenholz	— „	2380 „
Weidenholz	— „	1950 „
Pappelholz	220 „	— „

Holz, das lange im Wasser gelegen, verliert brennbare Theile. Ein Klafter trocknes, aber geschwemmtes Holz hat 15 — 20 % weniger Brennkraft als nicht geschwemmtes.

Je weicher das Holz und je dünner es gespalten ist, desto schneller verbrennt es.

§. 337. Kohlen. Auch die absolute Heizkraft der Holzkohlen ist bei gleichem Gewichte dieselbe (7200 W), wenn sie ganz trocken sind. Alle Kohlen saugen aber an der Luft schon Feuchtigkeit (bis 10 %) ein.

Das Gewicht von einem Maaß ist hingegen sehr verschieden, weil harte Kohlen um die Hälfte schwerer sind als weiche, und ein Maaß voll kleiner Kohlenstücke um 1/6 schwerer ist, als ein gleiches voll großer Stücke, da diese mehr Zwischenräume bilden.

Die Beschaffenheit der Kohlen hängt endlich noch von der Verkohlungsart ab. Sie werden leichter, wenn die Luft dabei mehr Zutritt hat.

1 Cub.′ harter Kohlen wiegt ca 12 Pf. 1 Cub.′ weicher etwa 8 Pf. Gepulverte Kohlen, die mit Asche bedeckt sind und unter welche die Luft Zutritt hat, verbrennen sehr langsam.

§. 338. Steinkohlen. Die Heizkraft der Steinkohlen ist sehr ungleich, denn ausserdem, daß sie oft mehr oder weniger feucht sind, enthalten viele Arten ungleich mehr erdige Theile als andere. Manche endlich enthalten noch Hydrogen, wodurch ihre Heizkraft bedeutend vermehrt wird.

Die Cokes (geröstete Steinkohlen) geben natürlich um so mehr Hitze, je weniger erdige Theile sich in den Steinkohlen befinden. Ausserdem hat aber die Art der Verkohlung einen bedeutenden Einfluß. Die Gascokes (die man in den Leuchtgasfabriken erhält) sind z. B. weit leichter als andere.

Torf. Noch ungleicher beinahe als die Qualität der Steinkohlen ist die des Torfes, denn manche Arten sind nicht nur weit dichter als andere, sondern bald mit wenigen, bald mit sehr vielen erdigen Theilen vermengt.

Die Torfkohlen haben nur insofern weniger Heizkraft als die Holzkohlen, als sie gewöhnlich weit mehr Erde enthalten.

Um zerkleinerte Brennmaterialien (Sägespäne, Lohe, erdige Braunkohle, Kohlenstaub u. dgl.) zum Brennen tauglich zu machen, muß man sie mit Lehmwasser kneten, dann zu Ziegeln formen und trocknen. Ihre Brennkraft kann nur deßwegen geringer als die jener Materialien in ganzen Stücken seyn, als diese Brennziegel Thon enthalten und gewöhnlich nicht so vollständig verbrennen.

Andere brennbare Körper wendet man selten als Brennstoffe im Großen an, wie Weingeist, Oel oder Kohlenstoffgas. Die Brennkraft der beiden leztern ist jedoch sehr groß. 1 Pf. (24 Cub.′) dieses Gases kann 76 Pf. Wasser von 0^0 auf 100^0 erhitzen; 1 Pf. Oel an 78 Pf. Wasser und 1 Pf. Weingeist etwa 52 Pf.

Bedarf an Luft.

§. 339. Alles Brennen besteht in einer Verbindung der brennbaren Theile mit Sauerstoff. Der Kohlenstoff wird namentlich dabei zu kohlensaurem Gas. Es muß daher atmosphärische Luft Zutritt haben, und ein desto größeres Quantum, da die Luft (dem Volum nach) nur 21 % Oxygen enthält, und 1 Cub.′ Luft kaum $^1/_{11}$ Pfund (franz.) wiegt. Je mehr brennbare Theile ein Körper hat, desto mehr Luft konsumirt er, wenn er verbrennt; doch hängt der Bedarf an Luft zugleich von der Natur der verbrennenden Theile ab.

Würde alles Sauerstoffgas der mit dem brennenden Körper in Berührung kommenden Luft zersezt (320), so erforderte zur vollständigen Verbrennung:

1 Pf.	ausgedörrtes Holz	6	Pfund Luft oder	68	Cub.′ (frz.)
„	lufttrocknes	„ $4^1/_2$	„	„ 51	„

1 Pf.	Holzkohlen (und Cokes)	$11\frac{1}{2}$	Pf. Luft oder	130 Cub.′
„	gute Steinkohlen	$9\frac{1}{4}$	„ „	104 „
„	Oel (und Kohlengas)	$14\frac{3}{4}$	„ „	166 „

In der Praxis wird aber weit mehr Luft erfordert, weil stets ein bedeutender Theil des Sauerstoffgases unzersezt entweicht. Je rascher der Luftwechsel ist, desto vollständiger wird in der Regel jenes Gas zerlegt; doch bei sehr lebhaftem Zuge sogar wird selten über die Hälfte in kohlensaures Gas verwandelt.

Um 1 Pf. trocknes Holz zu verbrennen, müssen daher wenigstens 9 Pf. oder 100 Cub.′ Luft zuströmen, oder für 1 Kil. $6\frac{2}{3}$ Cub. Meter.

§. 340. Um den erforderlichen Luftwechsel zu bewirken, wendet man entweder ein Gebläse an (318) — oder man läßt die Feuerluft durch einen mehr oder weniger hohen Kanal entweichen, so daß sich ein natürlicher Luftzug ergibt.

Durch die Verwandlung in kohlensaure Luft wird das Gewicht der Luft, aber nicht ihr Volum vergrößert; denn 1 Cub.′ Sauerstoffgas gibt, wofern die Temperatur unverändert bliebe, durch Aufnahme von Kohlenstoff 1 Cub.′ kohlensaures Gas.

(1 Cub.′ dieses Gases wiegt aber nicht $\frac{1}{11}$, sondern $\frac{2}{15}$ Pf.)

Verbraucht man also 100 Cub.′ Luft, um 1 Pf. Holz zu verbrennen, so besteht die abziehende Luft aus etwa 76 Cub.′ Stickgas, 12 Cub.′ Sauerstoffgas und 12 Cub.′ kohlensaures Gas von gleicher Temperatur.

Die abziehende Luft ist aber in der Regel weit wärmer als die einströmende; sie ist daher dünner und die Ausdehnung beträgt $\frac{1}{213}$ für 1^0 R. und $\frac{1}{267}$ für 1^0 C. (166)

Gesezt also, die einströmende Luft sey 12^0 R warm und die abziehende 150^0 R heiß, so werden

$1 + \frac{12}{213}$ Cub.′ frische Luft in $1 + \frac{150}{213}$ oder 225 in 363 Cub.′ heiße Luft verwandelt.

Hat die frische Luft 15^0 C und die abziehende 400^0 C, so werden $1 + \frac{15}{267}$ zu $1 + \frac{400}{267}$ oder 282 zu 667 Cub.′ ausgedehnt.

Und bei manchen Feuerungen ist die wegziehende Luft noch heißer.

Diese Berechnungen sind wichtig, um die Weite der Schornsteine, der Feuerkanäle, der Roståffnungen und der Zuglöcher zu bestimmen.

Benutzbare Wärme.

§. 341. Nicht alle Wärme, die ein Brennstoff, auch bei der zweckmäßigsten Heizeinrichtung, entwickelt, kann utilisirt werden; denn 1) geht einige Wärme schon verloren, weil das Feuer welche an die Umgebungen abtritt, und meist noch weit mehrere 2) weil die wegziehende Luft mehr oder weniger heiß ist und also Wärmetheile wegführt.

Bei einem offenen Feuer, auf dem z. B. ein Kessel kochen soll, geht handgreiflich die meiste Wärme verloren; allein auch bei einem geschlossenen Feuerherde muß die Luft nothwendig mehr oder weniger heiß wegziehen — weil

1) die Feuerluft keine Wärme an den zu hitzenden Körper abgeben könnte, wenn sie nicht heißer als dieser wäre, und (wenn kein Gebläse vorhanden ist);
2) weil ein natürlicher Luftzug nur dadurch möglich wird, daß die Luftsäule im Schornstein beträchtlich heiß und deßhalb leichter ist. Und sie muß um so heißer seyn, da die verbrannte Luft an sich schwerer als die frische ist.

Das Wasser in einem Dampfkessel wird wenigstens 80° R heiß und der Kesselboden noch etwas wärmer. Die Feuerluft, wo sie den Kessel verläßt, muß also merklich über 80° heiß seyn, sonst würde sie nicht Wärme an den Kessel abgeben, sondern ihm welche entziehen. *) Noch ungleich heißer wird sie aber seyn

*) Macht man Eisen in einem Feuer glühend, so muß aus demselben Grunde die abziehende Luft wenigstens so heiß seyn, als glühendes Eisen. In diesem Falle kann aber die Feuerluft, weil sie nicht des Zugs wegen so sehr heiß seyn muß, noch sehr wohl zur Erwärmung anderer Dinge (z. B. zum Kochen) dienen.

müssen, wenn die Verbrennung möglichst rasch vor sich gehen und durch die Leichtigkeit der Schornsteinluft ein sehr lebhafter Zug bewirkt werden soll. Da muß die Hitze meist auf 300° R und darüber steigen.

§. 342. Der Wärmeverlust, der daraus hervorgeht, ist unschwer zu berechnen, wenn man weiß (172), daß 1 Pf. Luft 4mal weniger Wärme konsumirt als 1 Pf. Wasser, d. h. nur $\frac{1}{4}$ W, damit die Temperatur um 1° R erhöht würde, und es läßt sich hiernach annähernd finden, wie groß der Nutzeffekt eines gegebenen Brennstoffquantums seyn mag.

Beisp. Wie viel Wasser mag 1 Pf. Steinkohle verdampfen, wenn die absolute Heizkraft derselben = 6000 W ist, das Wasser 40° C heiß in den Kessel fließt, das Verbrennen 18 Pf. Luft braucht und diese 240° heiß abzieht?

Um 1 Pf. Wasser von 40° zu verdampfen, braucht es 600 W. — 1 Pf. Steinkohle liefert, wenn sie total verbrennt 6000 W; nimmt man aber an, daß $\frac{1}{20}$ unverbrennt bleibt, nur 5700 W. Um 18 Pf. Luft auf 240° zu erhitzen, braucht es, wenn sie vorher 20° warm war, $\frac{18 \times 220}{4} = 990$ W.

Die benutzbare Wärme ist also = 5700 — 990 = 4710, und rechnen wir für sonstige Entweichung 200 W = 4510.

1 Pf. Steinkohle mag demnach $\frac{4510}{600}$ oder $7\frac{1}{2}$ Pf. Wasser in Dampf verwandeln.

Und dieses Resultat entspricht auch ziemlich genau der Erfahrung. Gewöhnlich rechnet man, daß 1 Pf. sehr gute Steinkohle in den besten Oefen $6\frac{1}{2}$ — 7 Pf. Wasser verdampft.

§. 343. Man könnte glauben, der Verlust wäre geringer, wenn die Rauchluft weniger heiß abzöge, allein die Erfahrung lehrt, daß das Sauerstoffgas dann unvollkommener noch zersezt wird, und daß alsdann weit mehr atmosphärische Luft durchziehen und also erwärmt werden muß. In der Regel ist daher eine noch stärkere Hitze vortheilhafter.

Sehr wichtig ist hingegen, zu verhüten, daß keine Luft, ohne den Brennstoff zu berühren, durch's Feuer erhizt werde. Es

geschieht dies, wenn der Feuerraum mittelst einer Thüre verschlossen ist, und die frische Luft nur durch eine kleine Oeffnung, oder noch besser durch den Aschenraum und einen Rost einzieht.

Ferner läßt sich zuweilen der Verlust vermindern, wenn man die Hitze der Rauchluft noch utilisirt. Dies ist aber in wenigen Fällen, ohne dem Zuge zu schaden, thunlich.

Wendet man künstliche Gebläse an, so braucht die abziehende Luft allerdings nicht so heiß zu seyn; es ist dann nur nöthig, daß sie etwas heißer, als der Kessel selbst ist, wo sie diesen verläßt. Durch lange Feuerzüge läßt sich dies bewirken, und so die Wärme mit größerer Ersparniß benutzen. Allein die Gebläse erheischen dagegen einen nicht geringen Kraftaufwand.

Man sieht hiemit, daß ein beträchtlicher Wärmeverlust fast immer unvermeidlich ist; daß die absolute Heizkraft nie vollständig utilisirt werden kann, und daß, so lange diese Angaben nicht als unrichtig erfunden werden, alle Verheißungen eines Effekts, der jenes Maximum erreichen oder gar übersteigen soll, auf Täuschungen beruhen müssen. Auch bei den vorzüglichsten Heizeinrichtungen lassen sich selten mehr als $^2/_3$ und wohl nie über $^3/_4$ der absoluten Heizkraft utilisiren.

§. 344. Vornehmlich ist noch darauf zu sehen, daß der Brennstoff so viel möglich ohne Rauch verbrenne. Der Rauch besteht hauptsächlich aus feinen Kohlentheilen, die, ohne zu verbrennen, mit der abziehenden Luft fortgerissen werden. Abgesehen, daß der Rauch oft lästig wird, geht hiemit alle diejenige Wärme dadurch verloren, die durch die Verbrennung dieser Kohlentheile entwickelt würde. Rauch entsteht nun namentlich, wenn das Feuer nicht heiß genug ist, so daß die sich verflüchtigenden brennbaren Stoffe nicht alle entzündet werden; er entsteht also zumal, ehe das Brennmaterial gehörig brennt und wenn neues eingetragen wird, wenn es feucht ist und daher weniger Hitze gibt, und wenn die Feuerthüre geöffnet und geschürt wird, da dann eine Masse kalter Luft eindringt, die das Feuer erkältet.

Man hat vielfach gesucht, die Entstehung des Rauchs zu verhüten. Es geschieht dies zum Theil durch eine verständige

Besorgung der Feuerung. Ausserdem hat man aber 1) Vorrichtungen angegeben, um, ohne die Feuerthüre zu öffnen, schüren und Brennstoff einlegen (und vorerst erwärmen) zu können (die komplizirtesten sind die sogen. Kohlenmühlen), und 2) solche Einrichtungen getroffen, wodurch frische Luft noch in den eben wegziehenden Rauch geleitet wird, in der Hoffnung, dadurch das Verbrennen desselben zu bewirken (Rauch verzehrende Oefen). *)

Um endlich die Wärme eines Feuers möglichst gut zu benutzen, ist es wichtig, daß der zu erwärmende Körper in der gehörigen Entfernung vom Feuer und über demselben stehe, und daß also bei Kesseln z. B. der Rost in einer gewissen Distanz unter demselben befindlich sey. Hält man ein kleines Gefäß mit siedendem Wasser über ein Lampenfeuer, so wird sowohl bei einer zu geringen als aber bei einer zu großen Entfernung in derselben Zeit viel weniger Dampf erzeugt. Steht der Kessel zu hoch, so wird zu wenig Wärme abgegeben, steht er zu niedrig, so kann das Feuer sich nicht gehörig entwickeln. Darum muß auch bei Holz oder Torffeuerung der Feuerraum weit größer seyn, als bei Steinkohlenfeuerung, während hingegen das Holz einen viel kleinern Rost erheischt.

4) Von den Vorrichtungen zum Kochen.

§. 345. Beim Kochen hat man gewöhnlich den Zweck, Flüssigkeiten so lange auf einem hohen Temperaturgrade zu erhalten, bis feste Theile darin weich geworden sind, oder bis sie sich aufgelöst oder eine sonstige Veränderung erlitten haben.

Soll dieser Zweck mit möglichst wenigem Brennstoff erreicht werden, so muß

1) Der Brennstoff möglichst viele Hitze entwickeln, also vollkommen verbrennen und weder Dampf oder Rauch erzeugen, noch brennbare Theile zurücklassen.
2) Von der erzeugten Wärme möglichst wenige ungenutzt verloren gehen.

*) S. meine Dampfmaschinenlehre S. 135, Fig. 25 — 28.

3) Nicht mehr Wärme der Flüssigkeit zugeführt werden, als eben zum Kochen nöthig ist.

Gesezt, um 5 Pf. Fleisch in 10 Pf. Wasser gar zu kochen, müsse dasselbe drei Stunden lang siedend, d. h. 100° heiß seyn, so wird man 1) die Masse auf diese Temperatur zu erhitzen haben, sodann aber 2) nur so viel Wärme noch zuführen müssen, als sie etwa anhaltend verlieren mag.

Um 15 Pf. von 10° auf 100° zu erhitzen, braucht es c. 90 × 15 oder 1350 W, und ½ Pf. Holz sollte also beinahe hinreichen, wenn alle Wärme in den Topf überginge. Allein die Feuerluft muß 1) heißer entweichen als der Topf ist, weil dieser sonst keine Wärme aufnähme; 2) weit heißer noch, weil sonst kein gehöriger Zug Statt hätte; und 3) wird Wärme auch den Mauern ꝛc. mitgetheilt. Man wird also am meisten Hitze utilisiren, wenn 1) das Feuer recht lebhaft ist, weil dann der Topf am schnellsten Hitze aufnimmt und der Brennstoff vollkommen verzehrt wird, 2) wenn die Luft unter einem Rost durchzieht, weil dann am wenigsten unnöthige Luft erhizt wird, 3) wenn der Feuerraum eng, die Fläche des Topfes groß und der Boden dünn ist, weil er dann am leichtesten Wärme aufnimmt, und 4) wenn die Mauern aus Materialien bestehen, die wenig Wärme durchlassen.

§. 346. Nicht minder wichtig ist nun aber, daß, sowie der Topf kocht, d. h. den erforderlichen Wärmegrad erlangt hat, nicht ferner mehr Wärme erzeugt wird, als eben nöthig ist, um ihn bei dieser Temperatur zu erhalten. Und diese wird überaus gering seyn, wenn die Entweichung der Wärme aus dem Topf möglichst verhindert wird; wenn man ihn also mit einem Deckel und namentlich einem doppelten Blechdeckel (161) bedeckt hält — da ein solcher wegen der eingeschlossenen Luftschichte besonders warmhaltend ist.

Gewöhnlich hält man ein fortwährendes Wallen für nothwendig, und glaubt daher, das Feuer unterhalten zu müssen, obschon die Flüssigkeit nicht heißer wird und die Dampfbildung doppelt nachtheilig ist, indem 1) das verdampfende Wasser unnöthiger

Weise sehr viel Wärme entzieht, und 2) weil mit dem Dampf gewöhnlich aromatische Theile mit verflüchtigt werden.

Damit indessen, um den Topf siedend heiß zu erhalten, wenig oder kein Feuer nöthig sey, muß die Wärme im Herd vollkommen zurückgehalten werden und darum derselbe beim Ein- und Ausgang mit Schiebern versehen seyn, die sofort vorgezogen werden, wie der Topf zu sieden anfängt.

Findet man, daß die Hitze der Feuermauern nicht hinreicht, die Siedewärme zu unterhalten, und daß noch etwas Kohlen fortglimmen müssen, so darf man nur in den dichtschließenden Schiebern eine kleine Oeffnung anbringen.

Wie weit die Ersparniß selbst in kleinen Kochapparaten gebracht werden kann, wenn man obige Regeln gehörig beachtet, zeigt der sogen. Calefacteur von Lemare.

Diese nützliche Vorrichtung besteht aus einem blechernen Gehäuse aa (Fig. 38), das mit Wasser gefüllt wird. Am Boden ist eine kleine Oeffnung b, die mit einem Schieber verschlossen werden kann. Ueber demselben ist ein Blechbehälter c, auf den man glühende Kohlen bringt. Dann sezt man die ebenfalls blechernen Kochgefäße d und e ein, die von aa nur um wenige Linien abstehen. So lange der Schieber offen ist, brennen die Kohlen lebhaft genug, um in kurzer Zeit die Flüssigkeit in den Töpfen und das Wasser in aa zum Kochen zu bringen, da der heiße Rauch zwischen beiden Gefäßen aufsteigt und die meiste Wärme abgibt. Wie das Kochen eintritt, wird der Schieber geschlossen und das ganze Gefäße mit einem wattirten Sacke f bedeckt. Die wenige Luft, die noch durch den Schieber eindringt, unterhält ein schwaches Fortglimmen, so daß die Töpfe Stunden lang fortkochen, und, ohne nachzusehen, findet man die Speisen zur gehörigen Zeit gar und in aa heißes Wasser zu beliebigem Gebrauche, das durch g abgelassen werden kann. Genaue Versuche zeigen, daß in solchen Apparaten an $^3/_4$ oder $^4/_5$ der theoretischen Heizkraft der Kohlen utilisirt wird, während bei den meisten Küchen mehr als $^3/_4$ der Wärme verloren geht. *)

---

*) Eine andere Vorrichtung von Lemare, um Wasser zu erhitzen, s. im polytechn. Journal, Bd. 47. S. 265.

Vom Kochen mit Damfdruck.

§. 347. Jedermann weiß, daß Speisen bälder gar werden, wenn der Kochtopf bedeckt ist. Es rührt dies daher, daß die Wärme besser zurückgehalten wird, und daß dann auch die kochende Flüssigkeit eine etwas höhere Temperatur annehmen kann.

Ungleich größer ist aber die Wirkung, wenn der Deckel so fest schließt, daß die Dämpfe gar nicht entweichen können. Der Dampf über der siedenden Flüssigkeit wird dann immer dichter, und dadurch diese selbst gezwungen, wärmer zu werden. (191) Reines Wasser, das unter dem gewöhnlichen Luftdrucke bei 100° kocht, wird bis 122° heiß, wenn der eingeschlossene Dampf einen Druck von zwei Atmosph. und bis 135° heiß, wenn er den von drei Atmosph. ausübt. Und salzige Flüssigkeiten haben unter demselben Drucke einen noch höheren Siedepunkt. (194)

Die unter einem solchen Drucke kochende Flüssigkeit hat aus doppeltem Grunde auf darin enthaltene feste Substanzen eine ungleich größere Wirkung. Für's Erste nämlich, weil sie heißer und ihre auflösende Kraft daher viel stärker ist, und dann weil sie durch den Dampfdruck mit großer Gewalt in die Poren jener Substanzen hineingetrieben wird. Auch zeigt die Erfahrung, daß Fleisch in solchen Töpfen in 5 oder 6mal kürzerer Zeit gar gekocht wird, als in gewöhnlichen, und daß man darin die Gallerte aus Knochen in kurzer Zeit und weit vollkommener als durch das längste Kochen ausziehen kann.

Um diese höhere Temperatur zu erzielen, ist zwar etwas mehr Wärme erforderlich (um wenigstens $\frac{1}{3}$ mehr, z. B. um die Flüssigkeit auf 138° statt auf 100° zu erwärmen), da das Kochen aber in so kurzer Zeit vollendet ist, so wird gewöhnlich noch eher weniger Brennstoff hinreichen.

Klar ist hingegen, daß 1) der Kessel oder Topf eine gehörige Stärke haben muß, und 2) daß er, um das Zerspringen zu verhüten, mit einer Sicherheitsklappe versehen seyn muß. (192) Hat indessen das Ventil eine Fläche von wenigstens $\frac{1}{4}$ □″,

ist es mit höchstens 3 Pf. belastet, und sieht man öfters nach, ob es frei spielen kann, so kann der Dampf eine Kraft von nur zwei Atmosph. erlangen, und ein solcher Kessel wird durchaus gefahrlos seyn und bereits ein auffallend schnelles Kochen gestatten. *)

§. 348. Dieses Verfahren kann noch in vielen andern Fällen nützlich seyn, wo es sich darum handelt, Stoffe aufzulösen oder auszuziehen, wofern nämlich die größere Hitze nicht derselben sonst nachtheilig ist.

In der Türkischrothfärberei wird es allgemein angewendet, weil die gefärbten Garne oder Zeuge, durch anhaltendes Kochen in einer an 130 — 140° heißen Flüssigkeit auffallend verschönert werden. Um die Stärke des Dampfes zu reguliren, versieht man hier den wohlverschlossenen Kessel a (Fig. 39) mit einer konischen Röhre b, deren Oeffnung c, je nachdem jene länger oder kürzer gemacht wird, enger oder weiter ist. Je enger die Oeffnung im Verhältniß der Kesselfläche und der Dampfproduktion ist, desto dichter und heißer muß der Dampf werden; weil er dann aber schneller ausströmt, so wird bei einer gewissen Dichtigkeit stets ebensoviel ausströmen, als erzeugt wird, und dann daher die Temperatur sich gleich bleiben.

Vom Kochen mittelst heißer Flüssigkeiten.

§. 349. Ist ein blechenes Gefäß a, (Fig. 40) in die Flüssigkeit, die in einem Kessel b erhizt und zum Kochen gebracht wird, eingesenkt, so wird auch a erwärmt, als Maximum jedoch nur die Temperatur der Flüssigkeit in b annehmen können.

Ist in b siedendes Wasser, so wird a und was darin ist, höchstens eine Wärme von 100° erleiden; enthält b Salzwasser,

*) Dergleichen Dampfdruckkessel heißen auch Papinische Digestoren oder Autoklave. Man bedient sich ihrer besonders zum Auskochen der Knochen, die darin ganz weich werden, und zur Bereitung der Knochengallerte. Der Deckel kann sehr leicht befestigt werden, wenn sowohl er als der Rand des Kessels einen Vorsprung hat. In der Haushaltung sind schon Kessel mit geringer Beschwerung und unbeträchtlichem Dampfdruck sehr vortheilhaft.

das bei 109° siedet, so ist dies die höchste Temperatur, die a erfährt.

Auf diese Weise wird man Materien, die unmittelbar über Feuer gebracht allzusehr erhizt würden, einer limitirten Temperatur aussetzen können, was in manchen Fällen erwünscht ist.

Enthält b Salzwasser, so wird man in a z. B. Früchte kochen können, ohne das Anbrennen befürchten zu dürfen, und ohne daß überdies a rußig wird. Leicht wird man auf diese Weise auch in gläsernen Gefäßen, in Flaschen ꝛc. kochen können.

Dieses Mittel würde noch weit häufiger Anwendung finden, hätte man viele Flüssigkeiten, die, ohne die Gefäße anzugreifen, sowie das Wasser oder Salzwasser auf eine bestimmte Temperatur sich erhitzen ließen.

In Zuckersiedereien hat man dieses Verfahren einzuführen versucht, weil, wenn die Siedekessel unmittelbar geheizt werden, der Syrup leicht anbrennt; und da das Kochen eine beträchtliche Hitze erfordert, hat man Oele oder Fettigkeiten als hitzende Flüssigkeit angewendet. Es zeigte sich indessen der Uebelstand, daß diese sich durch anhaltendes Sieden sehr bald umändern und unbrauchbar werden. In den meisten Fällen, wo man eine Hitze von 100° oder mehr erhalten will, ist daher (wie wir später sehen werden) die Anwendung des Dampfes zweckmäßiger.

Einfluß der Leitungskraft bei Kochgefäßen.

§. 350. Kocht man eine Flüssigkeit in einem dünnen metallenen Gefäße, so wird der Boden desselben nur unmerklich heißer als die Flüssigkeit, nur wenig über 100° also, wenn man Wasser darin kocht. Alle Wärme, die das Gefäß erhält, dringt nämlich sofort in das Wasser, so lange dieses kälter ist, und da das Wasser nicht über 100° heiß werden kann, so kann auch die Hitze des Metalls kaum höher steigen. Je dicker ein Kessel ist, desto wärmer mag er werden, doch nicht um ein Bedeutendes, da das Metall ein guter Leiter ist. Anders verhält es sich, wenn sich auf dem Boden etwa eine erdige Kruste angelegt hat, da

diese ungleich weniger die Wärme durchläßt. Unter einer solchen kann dann der Boden sogar bis zum Glühen sich erhitzen.

Sehr schnell steigt aber die Hitze, wenn das Gefäß leer ist. Sehr bald schmilzt dann die Löthung, z. B. bei blechernen Geschirren, während sie nichts leidet, wenn das Gefäß eine Flüssigkeit enthält. Bei Dampfkesseln tritt daher bei starker Verminderung des Wassers leicht die Gefahr des Zerspringens ein, indem die vom Feuer bestrichenen Wände dann glühend werden, und sie, wenn plötzlich etwa das Wasser darauf sprizt, eine ungewöhnliche Entwicklung von Dampf veranlassen können.

Bekanntlich kann man sogar eine Bleikugel in Papier schmelzen, wenn diese recht dicht anliegt. In diesem Falle entzieht nämlich das Metall auch dem dünnen Papier so schnell alle Wärme, daß dieses nicht heißer als schmelzendes Blei, und also nicht heiß genug werden kann, um sich zu entzünden.

§. 351. Sprizt man auf einen erhizten Körper Wasser, so verdunstet es schnell, und um so schneller, je heißer jener ist. Dies geschieht jedoch nicht, wenn er glühend ist. Bringt man z. B. einige Wassertropfen in einen glühenden eisernen Löffel, so hüpfen die Tropfen hin und her und verdampfen nur langsam. Diese räthselhafte Erscheinung (auf die zuerst Leidenfrost aufmerksam machte) rührt sehr wahrscheinlich daher, daß das Wasser mit dem Metall, sobald dieses glühend ist, nicht mehr adhärirt, und daß, da es das Metall nun nicht benezt und berührt, dieses ihm wenig Hitze abgeben kann. *)

Diese Erklärung bestätigt auch folgender Versuch. Hält man einen Kaffeelöffel voll Wasser über eine Lichtflamme, so kann man es bis zum Sieden bringen und sogar verdampfen; denn das Wasser entzieht dem Löffel so schnell die Hitze, daß das Ende des Stiels nicht heiß wird. Schwärzt man aber vorerst das Innere des Löffels, so hindert die Rußdecke das dichte Anliegen des

*) Bringt man etwas Wasser auf einen glühenden Löffel, der kleine Löcher hat, so läuft es aus demselben Grunde nicht durch.

Wassers und hiemit das schnelle Abgeben der Wärme, und der Stiel des Löffels wird daher in Kurzem so heiß, daß man ihn kaum noch halten kann.

5) Anwendung der durch die Erwärmung in Bewegung kommenden Luft.

§. 352. Da die Luft durch die Erwärmung ausgedehnt und also leichter wird, so muß 1) warme Luft in kälterer sich erheben, und 2) eine warme Luftsäule dem Druck einer gleich hohen kältern nicht widerstehen können und in beiden Fällen eine Bewegung sich ergeben.

Eine Menge Erscheinungen rühren daher, daß die wärmere Luft in kälterer aufsteigt. Wird Luft durch einen Ofen warm, so entsteht sofort eine Strömung, indem die erwärmte aufsteigt und kalte an ihre Stelle dringt. In jedem geheizten Zimmer ist die Luft an der Decke beträchtlich wärmer als am Boden. Ebenso steigen die durch die Erde erwärmten Luftschichten in die Höhe.

Wie eine hölzerne Kugel im Wasser steigt, so steigt ein mit warmer Luft gefüllter Ballon, wenn die Hülle leicht genug ist.

Die Luft dehnt sich nämlich für 1^0 C um $\frac{1}{267}$ und für 1^0 R um $\frac{1}{213}$ aus. (166) 8 Cub.′ Luft, die man von 0^0 auf 100^0 C erwärmt, werden zu 11 Cub.′ Enthält also ein Ballon 1100′ Luft von 100^0, so wiegt diese nicht mehr als 800′ kalte, und wöge die Hülle nicht so viel als 300′, so würde er steigen, indem der ganze Ballon weniger als 1100′ kalte Luft wöge, die er verdrängt.

§. 353. Besonders wichtig ist aber die Betrachtung der Bewegungen, die eine Folge des gestörten aerostatischen Gleichgewichts sind.

Umgibt man eine Rauch- oder Dampfröhre a (Fig. 41) mit einer weitern oben und unten offenen Röhre b, so wird die in

b befindliche Luftsäule erwärmt und darum leichter seyn und weniger drücken als die äussere. Fortwährend wird daher warme Luft bei c aus- und kältere bei d einströmen.

Das Gleiche hat Statt, wenn in dem Raume a (Fig. 42) die Luft wärmer ist als ausserhalb. Die Luftsäule nm wird stärker drücken, als die gleich hohe pq, und es wird daher warme bei p ab-, und kalte bei m einströmen.

Brennt in dem Ofen x (Fig. 43) Feuer, so muß aus demselben Grunde ein Luftzug entstehen und beständig kalte Luft bei z ein-, heiße durch den Rauchfang y abströmen.

Die Störung des Gleichgewichts wird offenbar um so größer 1) je höher der Rauchfang und 2) je heißer die abziehende Luft ist, und hiemit auch die Geschwindigkeit der Strömung.

§. 354. Theorie der Rauchfänge. Da die beiden Luftsäulen sich genau verhalten, wie zwei in kommunizirenden Röhren enthaltene Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischen Gewicht, so wäre die Geschwindigkeit leicht zu berechnen, wenn andere Umstände nicht einen bedeutenden Einfluß ausübten.

Man brauchte nämlich nur zu berechnen, 1) um wieviel höher die äussere, die Bewegung verursachende Luftsäule wäre, wenn sie dasselbe spezifische Gewicht wie die heiße Luft hätte, und 2) welche Geschwindigkeit ein fallender Körper erlangte, der um diesen Unterschied der Höhe herabfiele, denn eben diese Geschwindigkeit müßte die Luftsäule im Rauchfange erhalten. (316)

Aus Folgendem wird die Berechnung deutlich werden. Gesezt, das Camin sey 60′ hoch und die abziehende Luft 150° C heiß, so müßte die äussere 60′ hohe kalte Luftsäule um $\frac{150}{267} \times 60'$ oder um $33^1/_2'$ höher seyn, um denselben Druck auszuüben, wenn auch sie 150° heiß wäre. Ein Körper aber, der $33^1/_2'$ hoch fällt (73), erlangt eine Geschwindigkeit $v = \sqrt{4gh}$, d. h. $\sqrt{60 \times 33^1/_2}$ $= 47'$. Die Luft müßte hiemit mit der Geschwindigkeit von 47′ per Sekunde durch den Rauchfang ziehen; oder wenn man beachtet, daß die verbrannte Luft etwas schwerer ist (weil sich

ein Theil des Sauerstoffgases in kohlensaures verwandelt), wenigstens mit der von 45′.

Und kennt man die Geschwindigkeit, so wäre leicht zu finden, wieviel Luft in einer gegebenen Zeit durchziehen kann, und wieviel Brennmaterial dabei verbrennen mag.

Wäre nämlich obiger Rauchfang 1 □′ weit, so müßten per Sekunde 45 Cub.′ heiße Luft durchziehen, oder in einer Minute $60 \times 45 = 2700'$. Da diese Luft bei 150° zu $\frac{267 \times 150}{267}$ ausgedehnt ist, so muß $\frac{267}{417} \times 2700$ oder etwa 1712 Cub.′ kalte einströmen. Verbrauchte also 1 Pf. Holz 100 Cub.′ Luft, so könnte man etwa 17 Pf. per Minute verbrennen.

§. 355. Diese Rechnungen liefern jedoch mit der Erfahrung durchaus nicht übereinstimmende Resultate. Es ist nämlich:

1) Die Geschwindigkeit der wegziehenden Luft ungleich (oft 4 und 5mal) kleiner, weil sie an den Wänden des Rauchkanals eine sehr bedeutende Reibung erleidet. Diese Reibung muß um so größer seyn, je länger der ganze Kanal ist, je enger er ist und je größer die Geschwindigkeit der Luft ist.

Die theoretische Geschwindigkeit wird durch die senkrechte Höhe bestimmt; lauft der Rauchkanal aber schief, oder macht er (um einen Kessel z. B.) mehrere fast horizontale Windungen, so wird die Länge viel größer und ebenso also die Reibung. — Hat ferner ein kreisrunder Rauchfang einen 2mal kleinern Durchmesser als ein anderer sonst gleicher, so zieht (weil der Querschnitt 4mal kleiner wird) 4mal weniger Luft durch, der Umfang ist aber nur 2mal kleiner; die Luft kommt also verhältnißmäßig mit einer 2mal größern Wandfläche in Berührung, und der Widerstand ist hiemit im umgekehrten Verhältniß des Durchmessers, d. h. 2mal größer. Die Reibung muß endlich, wie bei allen sich bewegenden Flüssigkeiten, im quadratischen Verhältniß der Geschwindigkeit zunehmen. (55)

Ueberdies richtet sich die Größe dieser Hindernisse noch nach der Beschaffenheit des Materials und der Form des Rauchkanals.

Die Reibung ist desto größer, je rauher die innern Wände sind; beträchtlich größer bei gemauerten als bei metallenen Kanälen (aus Blech oder Gußeisen); bei rechtwinkligen größer als bei kreisrunden 2c.

§. 356. 2) Haben die Kanäle gewöhnlich nicht durchaus die gleiche Weite, und oft werden sie absichtlich an einer Stelle mehr oder weniger verengert. Diese Verengerung hindert nun unstreitig den Durchzug, doch steht die Verminderung der durchziehenden Luft nicht genau im Verhältniß dieser Verengerung. Wird z. B. durch einen Schieber (Register) r (Fig. 43) am Ende oder auf der Basis eines 1 □′ weiten Rauchgangs der Querschnitt auf ¼ □′ verengert, so geht doch weit mehr Luft durch, als wenn der ganze Kanal nur so eng wäre. Bekanntlich zieht auch die kalte Luft weit schneller in den Feuerraum durch eine kleine Oeffnung in der Ofen- oder Aschenraumthüre, als wenn diese ganz offen ist.

3) Ueberdies ist es schwierig, die Temperatur der wegziehenden Luft genau auszumitteln. Es reicht nicht hin, diejenige zu kennen, die sie beim Eintritt in den Schornstein hat, denn während sie darin aufsteigt, wird sie kälter, und um so mehr, je kälter und dünner die Wände desselben sind, je enger der Kanal ist und je langsamer die Luft steigt. Zudem bleibt sich die Temperatur des aufsteigenden Rauches nicht gleich.

Durch einen Manometer (Fig. 32) kann man zwar unmittelbar den Unterschied des Drucks der innern und äussern Luftsäule wahrnehmen, allein die daraus sich ergebende Geschwindigkeit wäre immer nur die theoretische und viel zu groß. (324)

4) Unsicher werden endlich diese Berechnungen, weil der Brennstoff bald mehr, bald weniger vollständig verbrennt, und bald mehr, bald weniger Luft verbraucht.

Wenn 1 Pf. Holz 2600 W entwickeln kann (336), und 10 Pf. Luft während des Verbrennens durchzieht, so wird 1 Pf. Luft 260 W erhalten, und da die Luft 4mal weniger Kapazität als das Wasser hat, 4 × 260 oder 1040° heiß werden; und zöge die

Luft 260° heiß in den Rauchfang, so ginge 1/4 der Wärme verloren.

Man sollte glauben, der Verlust müßte um so kleiner seyn, je weniger heiß die Luft wegzieht. Die Erfahrung zeigt aber, daß eher das Gegentheil Statt findet, weil je schwächer der Zug ist, desto weniger Sauerstoffgas zersezt wird und zugleich der Brennstoff mehr Rauch gibt, oder weniger Wärme. (344)

Gesezt z. B., die Luft zöge nur 160° heiß weg, 1 Pf. Holz gebe aber dann nur 2400 W und verbrauchte 20 Pf. Luft, so würde diese nun $120 \times 4 = 480°$ heiß, der Verlust aber wäre $\frac{480}{160} = \frac{1}{3}$.

§. 357. Man sieht, daß möglichst hohe Schornsteine in der Regel am vortheilhaftesten seyn müssen, denn bei gleicher Hitze der abziehenden Luft ist der Zug rascher, und es wird hiemit die Feuerluft heißer, so daß sie an die zu heizenden Körper mehr Wärme abgeben kann.

Damit ferner möglichst wenig Sauerstoffluft unzersezt bleibe, muß alle Luft mit dem Brennstoff in Berührung kommen. Es ist daher am besten, wenn sie von unten durch den Aschenraum und einen Rost einzieht, und der Rost mit dem Brennstoff ganz bedeckt ist.

Immerhin müssen die Zwischenräume des Rostes groß genug seyn, um die erforderliche Luftmenge durchzulassen, und um so geräumiger, je dichter der Brennstoff (Steinkohle zumal) darauf liegt. Jedes Oeffnen der Heizthüre und jedes Aufschütten von Kohle 2c. wird nachtheilig seyn, weil das Feuer erkältet wird und viel Luft dann einströmt, die nicht zur Entwicklung von Wärme beiträgt. (345)

Die Rauchfänge dürfen ferner eher zu weit als zu enge seyn, da man einem zu starken Ziehen leicht durch Register abhelfen kann.

Sind viele Feuer vorhanden, so ist es zweckmäßig, die einzelnen Rauchkanäle in einen einzigen zu vereinigen, dessen Querschnitt dann natürlich so groß seyn muß, als die Summe aller

einzelnen ist. In diesem Falle müssen die Kanäle oft abwärts steigen. Geschieht dies oder soll der Rauch (Fig. 44) von a durch b nach dem Rauchfange c gelangen, so wird es im Anfange, wenn dieser noch kalt ist, bloß nöthig, bei d etwa durch Anzünden von einigen Spänen die Luft zu erwärmen, um den Zug anzufachen. pq ist hier die wirksame Höhe des Kamins. *)

Ventilation.

§. 358. Noch in vielen andern Fällen ist es nöthig, einigen Luftwechsel zu bewirken, und auch dies geschieht gewöhnlich, indem man das Wegziehen der ohnehin erwärmten Luft erleichtert, oder absichtlich Luft erwärmt. Der Zweck aller dieser Einrichtungen heißt die Ventilation.

Wo Menschen athmen und ausdunsten oder wo Lichter brennen, wird die Luft allmählig verdorben und untauglich, zugleich aber erwärmt. Sind daher die Zimmer nicht sehr luftdicht, so wird beständig durch die höherliegenden Fugen wärmere Zimmerluft entweichen und durch andere frische kältere Luft einziehen. Hat aber kein genugsamer Luftwechsel Statt, so kann die Ventilation absichtlich durch eigene Oeffnungen in den höchsten Fensterscheiben 2c. befördert werden. In Schauspielhäusern zieht die Luft hauptsächlich durch eine große in der Decke und über dem Leuchter angebrachte Oeffnung ab, und um so schneller, da sie durch diesen noch erwärmt wird. **)

---

*) Zuweilen ist nöthig, dem abziehenden Rauche eine andere Richtung zu geben. Damit z. B. in einem Kohlenmeiler alles Holz gehörig verkohle, muß das Feuer nach und nach alle Theile des Meilers durchstreichen. Man erlangt dies, indem man in der Decke bald hie, bald da Oeffnungen macht, denn wo eine solche vorhanden ist, wird die Feuerluft ziehen. Dasselbe wird oft bei Ziegelöfen beobachtet.

**) Ein erwachsener Mensch konsumirt per Stunde zwar nur so viel Sauerstoff als in etwa 4—5 Cub.′ Luft enthalten ist. Allein die Luft wird zum Athmen schon untauglich, wenn sie 1/4 ihres Sauerstoffs verloren hat, und soll sie soviel als unverdorben bleiben, so

Will man die Luft in einem kalten Raum, z. B. in einem Keller a (Fig. 45) erneuern, so bringe man zwei Röhren b und c an, und erhitze die Luft in c durch Feuer. Es wird dann anhaltend die Kellerluft durch c aus- und frische durch b einströmen, weil die Luftsäule n o leichter ist als die Säule p q. Auf dieselbe Weise läßt sich die Luft in Bergwerken erneuern.

Ebenso wird man die oft so beschwerliche Luft aus Abtritten forttreiben können, wenn man das Abzugsrohr in der Nähe eines Ofens oder eines Schornsteins vorbeiführt, durch den es öfters erwärmt wird.

§. 359. Besonders wichtig wird die Ventilation bei allen Arten von Trockenkammern; denn die Luft trocknet nur so lange, als sie nicht mit Feuchtigkeit gesättigt ist. Je wärmer die Luft ist, desto mehr Feuchtigkeit nimmt sie auf; und je weniger sie gesättigt ist, desto schneller trocknet sie. Es ist also nöthig, daß die feuchtgewordene Luft stets durch trockene ersezt werde, ebenso aber, zumal wenn sie künstlich erwärmt wird, daß sie gesättigt nur entweiche.

Enthält ein feuchtes Stück Callico 5 Pf. Wasser (was sich ergibt, wenn es um 5 Pf. schwerer ist als ein trocknes), so müssen 200 Pf. verdunsten, wenn 40 Stück getrocknet werden sollen. Geschieht dies in einer auf 32° erwärmten Kammer, so müssen, da ein Cub.′ Luft von dieser Temperatur nur $\frac{1}{500}$ Pf. Wasser enthalten kann, 200 × 500 oder 100,000 Cub.′ Luft und zwar völlig trockne dadurch saturirt werden. Ist die frische Luft aber schon 12° warm und ziemlich feucht, so werden fast um die Hälfte mehr oder über 144,000′ durchziehen müssen, oder per Stunde 6000, wenn die Trocknung in 24 Stunden vor sich gehen soll.

Ist a (Fig. 46) die Trockenkammer, b der Ofen und c die Oeffnung, durch welche die frische Luft eindringt, so wird eine Abzugsöffnung d nicht zweckmäßig seyn, da die warme Luft schnell steigt und sich daher nicht in den ganzen Raum verbreiten

---

darf sie nur $\frac{1}{20}$ verlieren. Es sollten demnach stündlich auf einen Erwachsenen an 80 Cub.′ und auf ein Kind an 40 Cub.′ Luft erneuert werden.

wird. Weit zweckmäßiger ist, die feuchte Luft durch einen am Boden sich öffnenden Kanal e abziehen zu lassen. Und bringt man eine oben offene Scheidewand f an, so ist man noch sicherer, daß die Luft nur gesättigt entweicht. Ist der Abzug zu langsam, so wird man auch e zu erwärmen haben; und soll die Trocknung in beiden Theilen gleich gut von Statten gehen, so mag es rathsam seyn (wie Fig. 47 im Grundriß), einen äusseren Ofen b mit zwei Heizröhren op anzuwenden, und ebenso ein Abzugskamin e mit zwei Luftkanälen rs, so daß wechselsweise o und s, und p und r geöffnet und verschlossen werden können.

Es versteht sich von selbst, daß die Luft ohne Abkühlung wegziehen muß, denn diese würde sofort aufgelöstes Wasser niederschlagen.

Der Wärmebedarf ist ungefähr also zu berechnen. Um 144,000′ oder 13,000 Pf. Luft von 12° auf 32° zu erwärmen, braucht es $\frac{13000}{4} \times 20 = 65000$ W. Da diese aber 200 Pf. Wasser auflösen soll, so muß sie $200 \times 640 = 128000$ W mehr erhalten und hiemit um $\frac{128000 \times 4}{13000}$ oder fast um 40° wärmer, d. h. auf 72° erwärmt aus der Heizkammer strömen. Es bedarf also $65000 + 128000 = 193000$ W, oder, liefert 1 Pf. Steinkohle 4000 W an benutzbarer Wärme, nahe an 50 Pf. Steinkohlen.

Da die Auflösungskraft der Luft in stärkerm Verhältniß zunimmt als die Temperatur, so ist leicht zu erachten, daß dasselbe Quantum Brennstoff um so mehr leistet, je mehr die Hitze erhöht wird.

Zur Ventilation wendet man zuweilen auch Gebläse an.

6) Anwendung des Gefrierens zur Conzentration.

§. 360. Sowie der ungleiche Siedegrad verschiedener Flüssigkeiten zur Conzentrirung der einen angewendet werden kann, so läßt sich zuweilen auch der verschiedene Frostpunkt zu diesem Zwecke benutzen.

Reines Wasser gefriert bei geringerer Kälte als salziges. Läßt man daher eine Sole gefrieren, so wird vorzugsweise

reines Wasser zu Eis, und die übrige Flüssigkeit ist um so salzreicher. Dieses Verfahren, das zwar auf das Salz einen etwas nachtheiligen Einfluß haben kann, wird in kalten Ländern oft zur Gradirung von Solen angewendet.

Umgekehrt kann deßhalb das Eis der Eismeere dienen, um süßes Wasser zu erhalten, da auch beim Gefrieren des Meerwassers die Salze sich ausscheiden.

Auf ähnliche Weise bildet sich, wenn Essig gefriert, ein süßes Eis. Durch das Gefrieren kann man daher mit Vortheil ganz schwache essigsaure Flüssigkeiten, welche in manchen Gewerben (wie in Stärkefabriken ꝛc.) erhalten werden, in brauchbaren Essig verwandeln.

Ebenso kann man aus fetten Oelen, wenn man sie einer Temperatur unter 0 aussezt, eine talgartige Substanz und ein sehr dünnflüssiges Oel von einander sondern, da alle solche Oele aus zwei Materien zusammengesezt sind, und die eine (die man Stearine nennt) allein in der Kälte erstarrt; die andere aber (die Oleine heißt) stets flüssig bleibt.

7) Wirkungen der Feuchtigkeit in der Luft.

§. 361. Da Wasser bei jeder Temperatur zu Dampf werden kann (189), und dieser in der Luft wie in einem leeren Raume sich verbreitet, so muß alle Luft mehr oder weniger Feuchtigkeit enthalten. Gewisse Substanzen, wie kalzinirte Potasche, salzsaurer Kalk u. a., die eine große Affinität zum Wasser haben und dieses gerne einsaugen, werden daher feucht, wenn sie lange der Luft ausgesezt sind, und zerfließen endlich. Conzentrirte Schwefelsäure in offenen Gefäßen wird wässerig, weil sie ebenfalls die Feuchtigkeit anzieht. Manche Körper, wie Fischbeine, Haare, Saiten u. a. dehnen sich aus oder ziehen sich zusammen, je nachdem die Luft trockner oder feuchter ist, indem auch sie dann Feuchtigkeiten abgeben oder einsaugen, bis sie mit der Luft in gleichem Grade gesättigt sind.

Jene Substanzen, wie salzsaurer Kalk, gebrannter Kalk u. a. können dienen, um die Luft zu trocknen; diese, um den Feuchtig-

keitsgrad der Luft zu messen. Man nennt die leztern daher hygroskopische oder hygrometrische, und Apparate, die zu diesem Ende eingerichtet sind, Hygrometer.

§. 362. Die gemeinsten Vorrichtungen dieser Art bestehen aus einer Darmsaite a (Fig. 48). Das eine Ende b ist befestigt, das andere geht um eine kleine bewegliche Rolle c, an der ein Zeiger d und ein Gegengewicht e befindlich ist. In trockner Luft wird die Saite etwas schlaffer und länger, in feuchter kürzer, und der Zeiger also bald vor-, bald rückwärts gedreht. *)

Ein genaueres Werkzeug ist der von Saussure eingeführte Haarhygrometer. Statt der Saite ist auf ähnliche Weise ein wohlgereinigtes Menschenhaar ausgespannt; das ebenso in feuchter Luft kürzer, in trockner länger wird. Der Zeiger spielt auf einer Skale, auf der 0° völlig trockne, 100° mit Feuchtigkeit gesättigte Luft bezeichnet. Das Haar dehnt sich von 0 — 100° um $^1/_{40}$ aus.

Alle diese Instrumente zeigen indessen nur die relative Feuchtigkeit, d. h. das Verhältniß zum Sättigungspunkte an, und dieser ist je nach der Temperatur sehr verschieden. Der hygroskopische Körper nimmt nämlich stets so viel Feuchtigkeit an, daß er in demselben Grade wie die Luft gesättigt ist. Ist Luft von 10° R gesättigt, so ist sie es nicht mehr, wenn sie auf 20 oder 30° erwärmt wird, und doch enthält sie dann gleichviel Feuchtigkeit; der Hygrometer wird aber im ersten Falle 100° weisen, im zweiten viel weniger.

Bei 30° C ist der Dampf an 20mal dünner als bei 100°, oder als der des siedenden Wassers; bei 19° ist er 40mal; bei 8° 80mal und bei 0° an 150mal dünner. (§. 187) Wägen also 100 Cub.′ Dampf (aus siedendem Wasser) etwa 4 Pf., so können 100 Cub.′ Luft von 30° C höchstens $^4/_{20}$ oder $^1/_5$ Pf. Wasser enthalten, und bei 19° C nur $^1/_{10}$ Pf.

§. 363. Enthält die Luft nicht mehr Feuchtigkeit, als sie zur Sättigung bedarf, so bleibt sie durchsichtig, und gibt an

*) Hänfene Schnüre werden ebenfalls in feuchter Luft kürzer.

Körper, die keine größere Affinität zum Wasser haben, keines ab. Wie gesättigte Luft aber kälter wird, wird Wasser ausgeschieden.

Wird solche Luft durch und durch erkältet, so wird sie trübe und neblicht. Die ausgeschiedenen Wassertheilchen, wahrscheinlich auch weil sie kleine luftleere Bläschen bilden, bleiben schwebend. So entstehen Nebel und Wolken, die bei neuer Erwärmung oft schnell sich wieder auflösen. Verdichten sie sich hingegen, so daß die Wasserpünktchen zu Tropfen sich vereinigen, so entsteht Regen. Gefrieren zugleich die Wassertheile, so bildet sich Schnee oder Hagel.

Ebenso muß jeder Dampf sichtbar werden, wenn er in kältere Luft sich verbreitet, die ihn nicht vollständig auflösen kann. Darum sieht man den Dampf, der aus einem Kessel in die Luft einströmt; den Dunst der Lungen oder des Körpers, wenn die Luft kalt ist. Die Luft eines heißen Zimmers wird neblicht, wenn plötzlich eine Masse kalter Luft hineindringt. Alles Wasser verdunstet, aber wir sehen den Dunst nur, wenn es beträchtlich wärmer als die Luft ist. Bei sehr großer Kälte rauchen daher die Wasser, weil sie nicht unter 0° kalt sind, der Dunst aber in weit kältere Luft steigt. Im Eismeere sieht man oft das Meer 50 und mehr Fuß hoch mit einem dicken Nebel bedeckt, während die höhere Luft völlig rein ist.

§. 364. Andere Erscheinungen ergeben sich, wenn feuchte Luft mit viel kältern Körpern in Berührung kommt. Diese werden dann naß, indem sich die Feuchtigkeit auf die kalten Flächen niederschlägt. So ensteht das Schwitzen einer Flasche, wenn sie kaltes Wasser enthält, und das der Scheiben in einem warmen Zimmer, wenn die äussere Luft viel kälter ist. Eine noch auffallendere Wirkung ist das Gefrieren, wo, wie bei der Schneebildung, die regelmäßigsten Eisfiguren oft entstehen. Bei einfallendem Thauwetter werden die Mauern und Pflastersteine naß, weil diese dann ungleich kälter als die sie berührende feuchte Luft sind. Auch sie überziehen sich zuweilen sogar mit einer Eisrinde.

Auf gleiche Weise entsteht der Thau und Reif. In der Nacht wird die Oberfläche der Erde erkältet, weil sie gegen das Firmament Wärme ausstrahlt. (157) Die Ausstrahluug ist um so stärker, je heller der Himmel ist. Der Thau fällt daher vorzüglich in hellen und windstillen Nächten auf Körper, die dem freien Himmelsraume zugekehrt sind, und auf solche, die am meisten Wärme ausstrahlen. Die Wassertheile bilden Tröpfchen auf Flächen, die mit dem Wasser wenig Cohäsion haben. Der Thau wird Reif, wenn die Erkältung bis unter 0° geht.

In Zimmern, wo oft viel Dunst vorhanden ist, sezt sich dieser (und so auch der Rauch) vorzüglich auf die Theile der kältern Wände ab, die bessere Leiter sind. In Zimmern, wo viel geraucht wird, werden daher die Ausfüllungen der Wände weit schwärzer als die hölzernen Riegel.

Da viele hygroskopische Substanzen durch die Einsaugung von Feuchtigkeit leiden, so müssen sie oft sorgfältig vor dem Zutritt der Luft geschüzt werden. So z. B. der gebrannte Gyps, der lebendige Kalk, Schießpulver u. a. Manche Körper schüzt man gegen die Einwirkung der feuchten Luft durch firnisiren. (269)

Zu den Substanzen, die leicht feucht werden, gehören Salz, geröstetes Kaffeepulver u. a.

8) Physik der Zimmerheizung.

§. 365. Zu den wichtigsten Anwendungen der Wärme gehört die zur Erwärmung der Luft in Zimmern oder andern Räumen; wegen der vielen Umstände, die dabei in Betracht kommen, ist aber die Theorie dieser Heizung einer der schwierigsten Theile der industriellen Physik.

Fragte es sich bloß, wieviel Brennstoff nach seiner absoluten Heizkraft nöthig ist, um ein gegebenes Quantum Luft auf einmal auf eine gewisse Temperatur zu erwärmen, so wäre die Antwort sehr leicht.

Da 1 W 44 Cub.′ Luft um 1° C erwärmt, so brauchte es z. B. um 4400 Cub.′, um 20° zu erwärmen, 2000 W, und hiemit, wenn 1 Pf. Holz 2600 W gibt, nur $^{10}/_{13}$ Pf.

Allein aus verschiedenen Gründen erfordert 1) jene Erwärmung ungleich mehr Wärme, und 2) ist das Quantum benutzbarer Wärme, das der Brennstoff liefert, viel geringer.

§. 366. Klar ist nämlich:

1) daß die Luft beständig durch die Wände des Zimmers und namentlich durch die Fenster erkältet wird, und
2) daß durch die Fugen der Fenster und Thüren, und durch viele andere oft unsichtbare Spalte kalte Luft eindringt.

Soll also die Temperatur eines Zimmers auf einem gewissen Grade erhalten werden, so muß fortdauernd auch die abgekühlte, sowie die eindringende Luft erwärmt werden, und also beständig neue Wärme zufließen.

Es ist wohl unmöglich, genau den Einfluß dieser beiden Umstände zu berechnen, da sie je nach der Beschaffenheit der Zimmer sehr verschieden seyn können; doch ergibt sich aus Folgendem schon, wie bedeutend dadurch der Wärmebedarf erhöht wird.

Einfache Fenster erkälten nach Versuchen in einer Stunde per □′ etwa 20 Cub.′ der innern Luft bis auf die äussere Temperatur. *) Hat obiges Zimmer also zwei Fenster von 40 □′ Fläche, so ist die Erkältung $= 40 \times 20 = 800$ Cub.′ (und bei Doppelfenstern etwa 250 Cub.′), und soll das Zimmer hiemit gleich warm bleiben, so müssen per Stunde bloß der Fenster wegen 800 Cub.′ Luft auf 20° erwärmt werden; was $\frac{800}{44} \times 20$ oder an 400 W erfordert.

Die Abkühlung durch die Wände, Thüren und Boden ist sehr verschieden, je nach der Größe des Zimmers und der Dicke und der frühern Erwärmung der Mauern; doch mag sie oft ⅓ oder die Hälfte von der durch die Fenster (hier also 200 W) betragen. Bedeutend geringer ist die Abkühlung in vertäfelten Zimmern; auch schützen von der Mauer etwas abstehende Tapeten (weil Luft dazwischen ist) gegen die Erkältung.

*) Nach Tredgold soll die Erkältung auf 90 □′ steigen.

Rechnen wir endlich für sämmtliche Fugen und Spalte nur $\frac{1}{8}$ □′ und dränge die kalte Luft nur mit 2′ Geschwindigkeit per Sekunde ein, so gelangten doch in einer Stunde $\frac{3600}{8} \times 2$ oder 900 Cub.′ kalte Luft in das Zimmer, die ebenfalls erwärmt werden müssen und an 460 W erforderten.

Ebenso muß alle Luft erwärmt werden, die hineindringt, so oft man eine Thüre oder ein Fenster öffnet.

Kein Zimmer darf übrigens ganz luftdicht seyn, denn 1) dehnt sich die Luft beim Erwärmen aus, und ein Theil muß also entweichen und 2) muß in jedem Zimmer, wo Menschen athmen oder Lichter brennen, oder Substanzen trocknen sollen, ein Luftwechsel Statt haben.

2) Klar ist ferner, daß in den meisten Fällen bei weitem nicht alle Wärme, die das Feuer entwickelt, utilisirt wird, daß bei jedem Ofen z. B. alle Wärme verloren geht, die durch den Rauchfang abzieht.

1 Pf. trocknes Holz verbraucht in den bestziehenden Oefen wenigstens 9 Pf. Luft, in den meisten aber weit mehr. Ziehen nun z. B. während des Verbrennens 15 Pf. Luft ab, und ist die abziehende 160° heiß, so enthält dieselbe $15 \times 40 = 600$ W Wärme, und so viel geht also verloren. Liefert demnach 1 Pf. Holz, wegen unvollkommener Verbrennung und Rauch nur 2000 W, so würden nur 1400 utilisirt.

Heizmethoden.

§. 367. **Heizung durch freies Feuer.** Nur selten werden, bei uns wenigstens, Zimmer unmittelbar durch Holz- oder Kohlenfeuer geheizt. Auch ist dieses Verfahren, wenn gleich alle Wärme in die Luft übergeht, nicht einmal ökonomisch. Denn da die Luft verdorben und mit Rauch erfüllt wird, so muß ein starker Luftwechsel Statt finden.

Eine zufällige direkte Erwärmung ergibt sich in allen Zimmern, wo Lichter brennen. Entwickelt 1 Pf. Talg beim Verbrennen 7500 W in 50 Stunden, so geben 4 Lichter per Stunde

600 W. Eine Gaslampe, die in einer Stunde 3 Cub.' oder $\frac{1}{8}$ Pf. Kohlengas verzehrt liefert, $\frac{7600}{8}$ oder 950 W.

Ebenso erzeugen Menschen einige Wärme, die auf etwa $\frac{2}{3}$ W per Min. oder auf 40 W per Stunde geschäzt werden kann. Da indessen sowohl das Brennen als das Athmen die Luft verdirbt, so muß um so mehr für Erneuerung derselben gesorgt werden.

Heizung durch Kamine.

§. 368. Brennt Holz in einem Kamine a (Fig. 51), so zieht alle erhizte Luft durch b ab, und das Zimmer erhält nur strahlende Wärme. Da nun bei gewöhnlichem Feuer kaum $\frac{1}{4}$ der Wärme strahlende ist, und meist nur $\frac{1}{4}$ derselben in das Zimmer gelangen mag, so wird demnach kaum $\frac{1}{16}$ der entwickelten Wärme utilisirt. Zugleich zieht aber eine große Menge Luft unnöthiger Weise über dem Feuer aus dem Zimmer in den Rauchfang, die also durch eindringende kalte Luft ersezt werden muß. Es ist daher leicht zu erkennen, wie verschwenderisch diese Heizart ist. Zudem wird die bloß strahlende Wärme, sowie der starke Luftwechsel beschwerlich, und es entsteht leicht Rauch. *)

Verbessert wird die Heizeinrichtung:

1) wenn man die Rückwand c mit Blech oder Platten belegt, so daß mehr Wärme zurückgeworfen wird;

2) wenn man Steinkohlen oder Cokes brennt, die mehr strahlende Wärme geben;

3) wenn man Rauchregister d (im Rauchfange) anbringt, um den Abzug der Luft zu reguliren, oder, so wie das Holz verkohlt ist, ganz zu hemmen;

---

*) Oft wird lange nicht 1% der Heizkraft utilisirt, daher Franklin mit Recht die Kamine eine Erfindung nannte, um die Wärme zu verschwenden. 10 Pf. Holz sollten 26000 W entwickeln und also 44 × 2600 oder 11,440 Cub.' Luft um 10° erwärmen; oft mag aber ein Zimmer von 114,402' kaum um 1° wärmer werden, wenn 10 Pf. Holz in einem gewöhnlichen Kamine verbrannt werden.

4) wenn man die Feuerluft durch Kanäle leitet, die sich hitzen und Wärme abgeben.

Das Kamin raucht leicht, wenn der Rauchkanal zu weit ist und das Zimmer nicht genug frische Luft erhält; denn es bildet sich dann im Rauchfange ein doppelter Zug, so daß, während auf einer Seite heiße Luft steigt, von aussen auf der andern Luft hinabfließt, die Rauch mitreißt und in das Zimmer führt.

§. 369. Ofenkamine. Man nennt so meist aus Eisenblech gefertigte kleine Oefen, deren Feuerraum ein Kamin bildet, und vorn mit einer Schieberthüre versehen ist. Läßt man diese größtentheils herab, so hindert man das Einströmen der Luft über das Feuer, und dieses brennt dann, weil die Luft schneller und bloß in dasselbe strömt, lebhafter. Dann erhält aber das Zimmer auch keine strahlende Wärme und der Apparat wirkt bloß als Ofen.

Heizung durch Zimmeröfen.

§. 370. Die Zimmerluft wird erwärmt, indem der Ofen ihr die aus dem Feuer aufgenommene Wärme allmählig mittheilt.

Die meisten Oefen sind von Gußeisen oder von Töpferzeug (Kachelöfen), und man heizt entweder im Zimmer selbst oder von aussen.

Der Ofen erhält alle Hitze, die nicht in den Rauchfang gelangt; in der Regel um so mehr, je schneller der Brennstoff verzehrt wird. Die Luft zieht zwar heißer ab, allein desto mehr Wärme kann dann der Ofen absorbiren, und desto bälder kann er geschlossen werden. Das Lezte ist natürlich wesentlich, sobald das Holz verzehrt ist.

Damit die Feuerluft länger mit dem Ofen in Berührung bleibe und mehr Wärme abgebe, theilt man das Innere so, daß das Feuer durch einen langen Kanal durchziehen muß, oder man bringt aussen noch eiserne Heizröhren an. Zuweilen läßt man auch durch den Ofen Luftröhren gehen ꝛc. Damit nur die zum

Verbrennen nothwendige Luft in den Ofen komme, muß der Luftstrom durch eine kleine Oeffnung in der Ofenthüre soviel möglich gegen das Feuer blasen oder unter einem Roste durchgehen.

Von innen geheizte Oefen oder Windöfen haben, ausser manchen Bequemlichkeiten, den Vortheil, daß sie frei stehen, und daher in ihrem ganzen Umfange Wärme abgeben können. Ziehen sie aber mehr Luft aus den Zimmern, als zum Luftwechsel nöthig ist, so geht eher Wärme verloren. Es kann demnach vortheilhaft seyn, von aussen Luft zuzuführen.

§. 371. Kachelöfen, als schlechtere Wärmeleiter, nehmen die Wärme nicht so leicht an, als eiserne, und geben sie langsamer ab, und sofern sie gewöhnlich eine ungleich größere Masse haben, nehmen sie mehr Wärme auf. Große und dicke Kachelöfen bleiben daher ungleich länger warm, und sind weit geeigneter zu einer gleichförmigen und nachhaltigen Erwärmung. Ausserdem werden eiserne Oefen beschwerlich, weil sie viel Wärme ausstrahlen, riechen und die Luft überhitzen. *)

Vortheilhaft kann es seyn, eiserne Oefen mit einer 4 — 5″ abstehenden Wand (Mantel) zu umgeben, die am Boden Oeffnungen hat. Sie hindert die Ausstrahlung und veranlaßt ein rasches Aufsteigen der im Zwischenraume erwärmten Luft, so daß dem Ofen schneller die Wärme entzogen wird, und diese sich bälder im Zimmer vertheilt oder verbreitet. (353)

Die Vortheile beider Arten von Oefen vereinigt man gewissermaßen, wenn man in Kachelöfen einige Eisenplatten anbringt, welche die Luft erhitzen oder eiserne Luftröhren durch denselben führt.

Immerhin ist zu beachten, daß je weniger heiß die abziehende Luft ist, der Zug desto schwächer wird (wenn nicht der Rauchfang desto höher ist), daß je mehr die Feuerluft abgekühlt

*) Der allzustarken Austrocknung der Luft begegnet man, indem man ein Gefäß mit Wasser auf den Ofen stellt.

wird, desto mehr Ruß sich ansezt, und dieser leicht (und aus allen Zügen) muß weggeschafft werden können; daß je heißer der Ofen im Innern ist, desto heißer die Feuerluft seyn muß, um ihm noch Wärme ertheilen zu können; daß die Hitze hauptsächlich nach oben wirkt; daß ferner vor Allem darauf zu sehen ist, die Verbrennung mit möglichst weniger Luft zu bewirken, weil viel weniger Luft dann abzieht und diese viel heißer wird, und also eher Wärme abgibt; daß aller Abzug zu gehöriger Zeit abgesperrt werde, und daß es also nicht bloß auf eine zweckmäßige Construktion des Ofens, sondern nicht minder auch auf eine verständige Besorgung der Feuerung ankommt.

Zu den besonders zweckmäßig eingerichteten Oefen gehören die russischen und die von Busch.

Oft kann man ohne namhaften Mehraufwand von Holz Stubenöfen zugleich zum Kochen, Backöfen und Küchen zur Zimmerheizung ꝛc. benutzen.

Heizung mittelst erwärmter Luft.

§. 372. Daß ein in einem Zimmer a (Fig. 49) stehender Ofen b ein zweites höherliegendes Zimmer n noch erwärmen kann, wenn der Zwischenboden Oeffnungen c und d hat, wußte man längst. Die erwärmte Luft wird nämlich, weil sie leichter wird, durch c nach n steigen, während die kältere und schwerere durch d nach a strömt.

Erst in neuerer Zeit hat man aber dieses Verfahren, Zimmer ohne Oefen durch andere zu heizen, dahin ausgebildet, daß man den Ofen in einem eignen, bloß zur Erzeugung von Heizluft bestimmten Raume, einer Heizkammer, aufstellte, und diese daraus nach den verschiedenen zu heizenden Räumen führte. Dieses Heizungssystem nannte man die Luftheizung.

Das Prinzip dieser Heizung ist aus Folgendem ersichtlich: (Fig. 50) a ist ein eiserner in der Heizkammer b stehender Ofen. Aus dem Ofen erhebt sich der Rauchfang c; aus der Kammer gehen die Heizkanäle d d. Durch f zieht kalte Luft in die

Kammer b; durch die Oeffnungen e e strömt die heiße Luft in die Zimmer A B C D ein.

Da die äussere Luft schwerer ist als die warme in d, so wird diese beständig steigen und ein rascher Luftzug durch die Kammer Statt finden, und schneller wird daher auch a die Wärme an die Kammerluft abgeben. Offenbar muß aber b niedriger stehen als die Zimmer und die Luftlöcher e, und die Geschwindigkeit der Luft wird um so größer seyn, je höher ein Loch e über f liegt. Bedürfen also alle Zimmer gleich viel Wärme, so werden die Mündungen e in den höhern Zimmern kleiner oder auf kürzere Zeit geöffnet seyn müssen, als die in den untern.

Soll jedoch die warme Luft in die Zimmer einströmen, so muß gleich viel kalte daraus entweichen. Geschieht dies also nicht genugsam durch die Fugen der Thüren und Fenster, so ist eine besondere Abflußöffnung (am Boden) g anzubringen. Man kann übrigens auch die abfließende Luft geradezu wieder in die Heizkammer führen. In diesem Falle (wenn die Zimmer völlig dicht sind) hat kein eigentlicher Luftwechsel Statt; dieselbe Luftmasse cirkulirt beständig, und f wird unnöthig und kann durch einen Schieber verschlossen werden. Ohne Zweifel wird dann am wenigsten Wärme verloren; gewöhnlich ist indessen ein Luftwechsel wesentlich, und zumal in Schulen, Spitälern, Trockenstuben ꝛc. ist die Cirkulationsmethode nicht anwendbar.

§. 375. Die Luftheizung kann unstreitig manche Vortheile gewähren:

Die einströmende Luft verbreitet sich schnell, und einzelne Zimmer lassen sich daher in sehr kurzer Zeit und sehr gleichförmig erwärmen.

Der Zufluß der Heizluft läßt sich mittelst Schieber vor den Oeffnungen e sehr leicht reguliren und augenblicklich ganz unterbrechen.

Da die Heizröhren d auch schief aufsteigen dürfen (wofern sie nur steigen), so kann die Wärme in viele und entlegene Räume und durch mehrere Kanäle in sehr große (die sonst mehrere Oefen erforderten) geführt werden.

Die Construktion des Ofens kann möglichst zweckmäßig seyn, da hier bloß die vortheilhafteste Benutzung des Brennstoffs zu berücksichtigen ist. Gewöhnlich wendet man gußeiserne Oefen an, und läßt den Rauch noch durch blecherne Trommeln streichen ꝛc. Das Eisen kann, selbst glühend, bloß durch den Geruch etwa (und wenn Staubtheile daran verbrennen), nicht aber durch die ausstrahlende Hitze beschwerlich werden.

Da die Kammer dick genug gemacht und überdies mit nichtleitenden Materialien (Asche ꝛc.) umgeben werden kann, so ist jeder Wärmeverlust nach aussen zu verhindern. Da die innere Mauer aber sich erwärmt, und in die Kammer noch Steine ꝛc. gelegt werden können, die heiß werden, so kann die Kammer auf ziemlich lange als eine Art Wärmemagazin wirken, und darin Hitze gleichsam aufbewahrt werden, wofern man den Abfluß unterbricht. Läßt man (wie Fig. 50) das Rauchrohr c durch die Luftkanäle d durchgehen, so gibt auch jenes noch Wärme ab.

Bedeutende Vortheile können endlich daraus hervorgehen, daß man statt vieler Oefen nur einen braucht und zu besorgen hat; daß in den Zimmern also viel Raum gewonnen und die Feuergefahr vermindert wird u. a. m.

Nichts desto weniger mag die Luftheizung in vielen Fällen nicht vorzuziehen seyn.

An sich nämlich kann unmöglich mehr Wärme produzirt werden, als in andern gleich gut konstruirten Oefen, und dann ist nicht selten eben die Abhängigkeit aller einzelnen Zimmer von Einer Heizung unbequem, zumal auch, wenn etwas am Ofen fehlt. Ausbesserungen sind schwieriger. Es können endlich die Luftkanäle als Schallleiter (149) sogar unbequem werden.

Heizung von Zimmern mit Dampf.

§. 374. Läßt man Röhren b (Fig. 57), die aus einem Dampfkessel a mit Dampf gefüllt werden, durch ein oder mehrere Zimmer A gehen, so tritt der Dampf seine Wärme an die Luft ab; er wird zu Wasser verdichtet, das, wenn die Röhren gegen

den Kessel geneigt sind, in diesen wieder zurückfließt und das Zimmer wird also erwärmt.

Diese Methode, Zimmer und ganze Gebäude durch Dampf zu erwärmen, kam erst am Anfange dieses Jahrhunderts in England auf, und hat in manchen Fällen große Vortheile.

Ein einziger Kessel kann das größte Gebäude erwärmen. Es bedarf also nur eines Ofens. Die Wärme wird, da sie ursprünglich von Wasser und in einem Kessel aufgenommen wird, gut utilisirt. Der heizende Dampf kann leicht überall hingeführt werden, und ohne bedeutenden Verlust, wenn die Röhren, wo sie nicht heizen sollen, mit warmhaltenden Körpern umhüllt werden. Durch Absperrung läßt sich die Wärme leicht reguliren. Da das Dampfrohr nie merklich über 100° C heiß wird, so wird die Luft nicht überhizt oder verbrennt. Es hat ferner kein zu großer Luftwechsel Statt, da bloß dasjenige Quantum Luft nothwendig aus dem Zimmer entweicht, um welches die Luft anfänglich durch die Erwärmung ausgedehnt wird. Alle Feuersgefahr ist möglichst beseitigt und von Rauch nichts zu befürchten, da zufällige Risse in den Röhren nur Dampf durchlassen. Den Dampf kann man endlich auch in Gefäße von beliebiger Form führen und so alle Annehmlichkeiten eines heißen Ofens sich verschaffen.

Gewöhnlich heizt man mit Röhren, und diese sind entweder von Gußeisen oder starkem Kupferblech. Leztere verdienen den Vorzug. Sie sind viel leichter, heizen schneller und sind nur scheinbar theurer, da das Kupfer stets vielen Werth behält. Röhren von Eisenblech taugen wenig.

Der Dampf muß, damit er leicht in alle Röhren zieht, eine etwas erhöhte Spannung haben. Es ist aber hinreichend, daß das Dampfventil mit 2 oder 3 Pf. per □″ belastet ist.

§. 375. Leicht ist theoretisch die erforderliche Menge Dampf zu berechnen, um ein gegebenes Luftvolum zu erwärmen. Weiß man (173), daß 1 W — 4 Pf. oder 45 Cub.′ Luft um 1° C zu erwärmen vermag, und daß 1 Pf. Dampf, der zu Wasser von

60° verdichtet wird, 640 — 60 oder 580 W abgibt, so erfordern nothwendig 12,000 Cub.′ Luft, die um 15° wärmer werden sollen:

$$\frac{15 \times 12000}{45 \times 580}$$ oder etwa 7 Pf. Dampf,

und 1 Pf. Steinkohle oder 2 Pf. gutes Holz müßten beinahe hinreichen, um diese Heizung zu bewirken.

Soll jedoch die Temperatur eines Zimmers anhaltend die gleiche bleiben, so wird aus schon angeführten Gründen ein (366) ungleich größeres Quantum Wärme erforderlich, und auf dieselbe hat die Beschaffenheit der Umgebungen so vielen Einfluß, daß sich kaum eine zuverlässige Berechnung anstellen läßt.

Nach mehreren Erfahrungen dürfte bei guteingerichteten Dampfheizungen im Großen anzunehmen seyn, daß 1 Pf. Dampf per Stunde nöthig ist, um 20,000 Cub.′ Luft um 1° C wärmer zu erhalten.

Um also einen Saal von 60,000 Cub.′ anhaltend auf 20 über die äussere Temperatur zu erwärmen, müßten in den dadurch gehenden Röhren per Stunde 3 × 20 oder 60 Pf. Dampf condensirt werden, oder so viel Dampf, als man bei Dampfmaschinen gewöhnlich auf eine Pferdekraft rechnet. (409)

Soll die Temperatur nur um 10° erhöht werden, so reichen 30 Pf. hin.

§. 376. Eine andere Frage betrifft die nöthige Fläche der Dampfröhren:

Nach Clement condensiren per Stunde (wenn die Luft 15° warm ist) 90 □′ horizontale Röhren von Gußeisen c^a^ 36 Pf. D.

do.	do.	reinem Kupfer	c^a^	30 „
do.	do.	geschwärztem Kupf.	c^a^	36 „
und die lezten, wenn sie vertikal stehen, an			c^a^	40 „

Manche Physiker geben jedoch ein beträchtlich geringeres Quantum an. Ueberdies ist es merklich größer oder kleiner, wenn die Luft des Zimmers kälter oder wärmer ist.

Nehmen wir also für 1 □′ ¼ Pf. Dampf an, so wird für einen Raum von 20,000 Cub.′, der in den kältesten Tagen um 30° zu erwärmen seyn mag, und dann also 30 Pf. Dampf bedarf, die Röhrenfläche an 120 □′ betragen müssen.

Wirklich rechnet man (nach Buchanan) in England für Spinnereien, z. B. die stark geheizt werden müssen, auf 200 Cub.′ Luft 1 □′ Rohrfläche, und für Treibhäuser ꝛc. noch weit mehr.

Für Wohnhäuser mag hingegen 1 □′ auf 300 Cub.′ Raum, und für Kirchen u. dgl. 1 □′ auf 4—500 Cub.′ genügen.

Gewöhnlich haben die Röhren 3—6″ im Durchmesser, und Klappen, um die Einströmung des Dampfes zu reguliren.

Der Dampf muß mit ziemlicher Geschwindigkeit einströmen und darum schon eine größere Spannung haben. Ist das Dampfrohr 4″ weit und der Querschnitt also etwa $^1/_{11}$ □′ groß, und sollen per Stunde 30 Pf. Dampf einströmen oder 30 × 24 Cub.′, also per Minute 12 Cub.′ — so muß der Dampf eine Geschwindigkeit von 11 × 12 oder 121′ per Minute haben. Da indessen ein sehr mäßiger Dampfdruck eine ungleich größere Geschwindigkeit bewirken kann, so sieht man, daß die Zuleitungsröhren weit enger seyn dürfen.

Daß bei der Anlage langer Dampfröhren auf ihre Ausdehnung Bedacht zu nehmen ist, wurde schon früher (328) bemerkt.

Da ferner, wenn die Heizung anfängt, die Luft, welche die Röhren füllt, durch den Dampf zuerst hinausgetrieben werden muß, so muß am Ende der Röhre eine Klappe seyn, die ihr einen Ausweg gestattet. Und ebenso müssen die Röhren mit einwärtsgekehrten Klappen versehen seyn, die, so oft der Dampfzufluß aufhört, oder überhaupt ein leerer Raum sich ergibt, das Eindringen der äussern Luft in die Röhren möglich machen.

Die Röhren b und d sind endlich so zu legen, daß das Dampfwasser beständig ausfließen kann.

9) Anwendung des Dampfes zur Erhitzung von Flüssigkeiten und zum Kochen.

§. 377. Da ein Pfund Wasserdampf 640mal so viel Wärme enthält, als es braucht, um 1 Pf. Wasser um 1° C zu erwärmen, oder 640 W, so muß derselbe 540 W abgeben, wenn er sich zu

Wasser von 100° verdichtet, und 600 W, wenn er als Wasser nur noch 40° warm ist.

Leitet man daher den Dampf aus einem Kessel a (Fig. 52) durch Röhren b c in ein Gefäß mit Wasser p oder eine andere Flüssigkeit, so daß er sich kondensiren muß, so wird diese Flüssigkeit beträchtlich erwärmt.

Führt man z. B. 1 Pf. Dampf in 10 Pf. Wasser von 20°, so tritt derselbe 620 W ab; und da nun 11 Pfund Wasser vorhanden sind, so muß die Temperatur um $\frac{620}{11}$ oder um ca 56° steigen, d. h. auf 76° C. Führt man dem Wasser noch mehr Dampf zu, so wird dasselbe immer wärmer und endlich kochend heiß; und strömt dann noch ferner Dampf ein, so wird die ganze Wassermasse zwar nicht heißer, aber fortwährend kochen, und aus derselben beständig so viel verdampfen, als ihr Dampf zugeführt wird.

Man kann hiemit, indem man Dampf in Flüssigkeit steigen läßt, diese nicht nur erwärmen, sondern zum Kochen bringen und im Sieden unterhalten.

§. 378. Auf den ersten Anblick muß es fast unbegreiflich scheinen, daß ein solches Verfahren je vortheilhaft seyn kann; denn alle Wärme, die der Dampf abgibt, muß demselben zuerst ebenfalls zugeführt werden, und es scheint um so unnatürlicher, eine Flüssigkeit, die erhizt werden soll, mittelbar durch vorläufig bereiteten Dampf zu erwärmen, da das Dampfwasser stets noch einige Wärme zurückbehält, und bei diesem Umwege stets etwas Wärme verloren gehen muß.

Wirklich konnte die Anwendung einer solchen Heizmethode früher nicht leicht Jemanden einfallen. Es ist indessen unschwer zu erkennen, daß dieses Verfahren doch in vielen Fällen sehr bequem und wirklich vortheilhaft seyn kann.

1) Ist nämlich die Produktion des Dampfes oft ökonomisch nützlich, weil sie in einem einzigen Kessel vorgenommen, und dieser auf die zweckmäßigste Weise geheizt werden kann.

Ein einziger Dampfkessel kann z. B. 20 Färbe- oder Laugekessel heizen. Müßte jeder ein besonderes Feuerwerk haben, so

ist unzweifelhaft, daß eine ungleich größere Menge Wärme verloren ginge. Obschon also das ganze Quantum Wärme, die jeder Kessel erhalten muß, auch dem Wasserdampf zuzuführen ist, so ergibt sich doch auf diese Weise eine sehr namhafte Ersparniß.

2) Gewährt die Heizung mit Dampfröhren oft noch andere Vortheile.

Kessel mit eigner Feuerung nehmen vielen Raum ein, und können nicht überall angebracht werden. Das Heizen eines jeden Kessels erfordert eine besondere Abwartung. Der Raum, in dem zugleich Feuerwerke sind, wird verunreinigt. Die Kessel endlich müssen von Metall seyn.

Bei der Heizung mit Dampf kann jedes Gefäß, hölzerne wie metallene, dienen; sie können fast überall, auch auf obere Böden rc., hingestellt werden u. a. m.

3) Bei der Dampfheizung endlich ist es leicht, die Temperatur genau zu reguliren, indem man nur den Hahnen d zu drehen oder abzuschließen braucht, mit dem jedes Dampfrohr versehen ist, und dieses ist in vielen Fällen höchst wichtig; bei direkter Feuerung aber fast gar nicht, oder sehr unvollkommen nur zu erreichen.

Ein Uebelstand ist allerdings nun der, daß das Dampfwasser sich mit der Flüssigkeit vermischt, und diese daher, so lange sie wärmer wird, an Masse zunimmt. Oft ist aber diese Zunahme ohne Nachtheil, oder es kann zum Voraus darauf Rücksicht genommen werden. Und dann ist das hinzukommende Wasser jedenfalls durchaus rein.

Ferner ist klar, daß der Dampf etwas mehr Elastizität als die Luft haben muß, weil er zugleich die Wasserhöhe im Gefäß zu überwinden hat.

Endlich ist eine gewisse Vorsicht nöthig, damit nicht, wenn der Dampf im Kessel sich etwa erkältet, die Flüssigkeit in denselben zurücksteige. (397)

§. 379. Die Dampfsiederei ist in neuerer Zeit vielfach nicht bloß in Färbereien, Bleichereien, Gerbereien, Bade-Anstalten u. a. m., sondern auch in Seidespinnereien u. dgl. eingeführt worden; denn, wie leicht zu erachten, kann das Wasser dadurch auch zu jedem beliebigen Grade unter der Siedehitze erwärmt werden.

Nach Regnauds Erfahrung brachte die Anwendung des Dampfes in den Filanden nicht nur eine Oekonomie von 3/4 an Brennstoff, sondern noch andere Vortheile. Die verschiedenen Arten von Cokons können genau bei der ihnen angemessenen Temperatur (die bei einigen nur 60° R, bei andern an 75° beträgt) abgehaspelt werden; da die Kessel großentheils nur durch das reine Dampfwasser Zufluß erhalten, so wird die Seide schöner und zum Färben geeigneter; und da bei den Haspeln keine Oefen vorhanden und zu besorgen sind, so geht die Arbeit ununterbrochener fort und die Werkstätte ist reinlicher. —

Auffallend bequem ist die Dampfheizung in Färbereien und Badehäusern.

Soll das kalte Wasser durch Vermischung mit kochendem von 12° auf 32° C erwärmt werden, so gibt 1 Pf. siedendes kaum 66 W ab, und kann hiemit nur 3 1/4 Pf. kaltes Wasser erwärmen. Ein Bad von 4 1/4 Zentner Wasser erheischt also wenigstens 1 Ztr. siedendes.

Läßt man Dampf einströmen, so gibt 1 Pf. an 600 W ab, und kann hiemit 30 Pf. Wasser um 20° erwärmen. Ein Bad von 450 Pf. kaltem Wasser wird also durch 15 Pf. Dampf um 20° wärmer.

§. 380. Der Dampf kann ferner unmittelbar oft zum Kochen angewendet werden.

Am einfachsten wird dies veranstaltet, wenn man in einem wohlbedeckten Topfe etwas Wasser zum Sieden bringt, und die zu kochenden Speisen in einem blechernen Gefäße mit durchlöchertem Boden dem Dampfe aussezt.

Im Großen geschieht es, indem man den Dampf aus einem Kessel in einen dampfdichtschließenden Behälter einströmen läßt. Ist dieser z. B. mit Kartoffeln gefüllt (doch nicht ganz, weil sie

aufschwellen), so werden diese, indem der Dampf sich verdichtet, sehr bald gar gekocht, da der Dampf sehr viele Wärme abgibt.

Dieses Verfahren, mit Dampf zu kochen, hat den Vortheil, daß die Speisen nicht, wie wenn man sie im Wasser kocht, mit Wässerigkeit durchdrungen oder dadurch ausgesogen werden, und daß sie daher viel schmackhafter sind. Ein anderer Vortheil ergibt sich daraus, daß mit einem Kessel von mäßiger Größe bedeutende Quantitäten gekocht werden können, und dazu wohlfeile hölzerne Fässer ꝛc. tauglich sind.

§. 381. Der Dampf endlich kann auch **mittelbar** zum Erwärmen von Flüssigkeiten verwendet werden, d. h. ohne daß er in denselben verdichtet wird.

Man läßt nämlich den Dampf entweder in gewundenen blechernen Röhren durch die Flüssigkeit gehen, so daß er Wärme an diese abtritt; oder man füllt anhaltend mit Dampf ein Gehäuse, das dicht das Gefäß umschließt, indem eine Flüssigkeit erhizt werden soll.

So gebraucht man z. B. den Dampf, um den Zuckersyrup einzudicken. (550) Gewöhnlich muß man aber Dampf von ziemlich starkem Druck anwenden, damit er eine höhere Temperatur hat, und der Apparat muß daher eine gehörige Festigkeit haben.

Beim Seidendruck soll oft mit Modeln flüssiges Wachs aufgedruckt werden. Um das Wachs auf dem Chassis flüssig zu erhalten, ist dieses in einen Dampfkasten eingesenkt. *)

10) Vom Abdampfen und Abdunsten.

§. 382. Die Eigenschaft der Körper, sich in Dampf verwandeln zu können, wird vielfach benuzt. Wir nennen die darauf

---

*) Die Wärme des Dampfes wird jezt auch angewendet, um die auf seidene oder wollene Zeuge aufgedruckten Farben zu fixiren. Man bringt sie zu dem Ende 20 — 30 Minuten lang mit Dampf in Berührung, der jedoch durchaus trocken seyn muß (364), weil sonst Wassertheile sich anhängen und ein Ausfließen der Farbestoffe bewirken würden.

sich gründenden Operationen Verdampfungen, Abdampfungen oder Abdunstungen.

Eine Substanz wird verdampft, wenn wir sie in Dampf verwandeln, um den Dampf auf irgend eine Weise zu benutzen.

Sie wird abgedampft, wenn wir die flüchtigen Theile derselben durch künstliche Wärme in Dampf verwandeln, bloß um diese daraus zu entfernen; und abgedunstet, wenn dasselbe ohne Erhitzung veranstaltet wird.

Wir reden hier nur von dem Abdampfen und Abdunsten.

Diese Operationen haben fast immer die Entfernung wässeriger Theile zum Zweck; doch wird z. B. beim Vergolden auch Quecksilber abgedampft (abgeraucht).

Das Abdampfen oder Abdunsten hat gewöhnlich den Zweck, Körper zu trocknen oder Flüssigkeiten zu konzentriren; das Abdunsten oft auch den, sie zu erkälten.

1) Zum Trocknen.

§. 383. Beabsichtigen wir das Trocknen, so wenden wir gewöhnlich keine künstliche Wärme an. So trocknet man nasse Tücher, Garne, Papier 2c.; so den Leim, die Thonwaaren 2c. Die Verdunstung des Wassers geht um so schneller von Statten (188), 1) je trockner und wärmer die Luft ist (da wärmere mehr Dampf enthalten kann), 2) je öfter sie sich erneuert (besser also bei einem Luftzuge), und 3) je größer die Oberfläche des abdunstenden Körpers ist. Ausserdem hat auch die Anziehungskraft des Stoffes zum Wasser darauf Einfluß. (362)

Dieser Prozeß hängt daher sehr von der Beschaffenheit der Witterung ab, und oft ist er im Winter oder bei regnerischem Wetter gar nicht vorzunehmen.

Schon deßhalb oder um die Austrocknung zu beschleunigen, wendet man oft Trockenkammern an, die geheizt werden können. Künstliche Hitze wird zuweilen aber auch nöthig, um eine vollständige Austrocknung zu bewirken. So kommt der Zucker in Darröfen (die auf 50 — 60° geheizt sind), damit er hart werde,

und die zur festen Masse abgedampfte Potasche noch in Calcinir-öfen, weil sie nur in der Glühhitze alle Feuchtigkeit verliert. *) In den Kattundruckereien werden die Tücher oft in starkgeheizte Kammern gebracht, damit Stoffe, womit sie impregnirt wurden (z. B. Oeltheile), umgeändert oder fixirt werden.

§. 384. Tücher und endlose Papierbogen können in wenig Augenblicken getrocknet werden, indem man sie von n bis p über eine Reihe blecherner Cylinder a (Fig. 56) laufen läßt, die mit Dampf geheizt werden. Die Axen i, um die die Cylinder sich drehen, sind hohl, so daß beständig Dampf einströmen kann.

Man kann annehmen, daß Cylinder aus Kupferblech, die durch den Dampf beständig auf 100° erhizt sind, in einer Stunde per □′ wenigstens 32 □′ Baumwollentuch (Callico) trocknen, die c^a 4/5 Pf. Wasser enthalten. 10 Cylinder von 12 □′ können daher (obgleich das Tuch nicht die Cylinder ganz umgibt) per Stunde 120 × 32 = 3840 □′ oder 18 — 20 Stück trocknen, und daraus an 100 Pf. Wasser verdunsten. Es muß daher auch wenigstens so viel Dampf in die Cylinder strömen und condensirt werden, und das Dampfwasser daraus abfließen können.

Zuweilen wendet man (wie bei den Schlichtmaschinen), um eine schnelle Trocknung zu bewirken, Ventilatoren oder Windflügel an, die viele 100mal per Minute umschwingen (Fig. 53).

aa ist ein solcher Windhaspel, aus vier sich durchkreuzenden Brettern. Hat das Laufriemenrad b 20mal mehr Umfang als die Rolle c, und wird b durch die Treibrolle d 8mal per Sekunde umgetrieben, so macht der Haspel 20 × 60 oder 1200 Umschwingungen per Minute, und erzeugt daher so viel Wind, daß das nahe daran vorbeigeführte geschlichtete Garn e schnell ausgetrocknet wird, zumal wenn der Apparat in einem warmen Raume steht.

So oft die Trocknung in geschlossenen Räumen veranstaltet wird, ist für gehörigen Luftwechsel zu sorgen. (360)

*) Neulich hat man auch die Luftpumpe angewendet, um in Darrkammern durch Verdünnung und Fortschaffung der feuchten Luft, die Trocknung zu beschleunigen. (511)

2) Zur Conzentrirung von Flüssigkeiten.

§. 385. Da das Wasser bei einer niedrigeren Temperatur sich in Dampf verwandelt, als gesättigte Salzauflösungen und Säuren (194), so verdampft, wenn solche Wasser enthalten, vorzugsweise oder bloß dieses, und jene Flüssigkeiten werden demnach immer stärker.

Auf diesem Prinzip beruht die gewöhnliche Gradirung schwacher Salzsolen. 1 Ztr. Wasser wird, wenn er über die Dornwände herabträufelt, wenigstens in 4 Mill. Tropfen vertheilt, und da jeder etwa 4 □‴ Oberfläche haben mag, so bietet das so zertheilte Wasser der Luft eine Fläche von fast 1000 □′ dar. Es ist daher begreiflich, daß, wenn ein Quantum Sole zu wiederholten Malen, also vertheilt von der Dornwand herabfällt, es einen großen Theil des Wassers verlieren muß. Auch diese Verdunstung muß jedoch sehr von der Witterung abhängen.

Ein Zentner Sole von 5°, d. h. die in 100 Pf. 95 Wasser und 5 Salz enthält, muß um 20grädig zu werden, so daß sie auf 100 Pf. 20 Salz, d. h. auf 25 Pf. 5 Pf., enthält, 75 Pf. Wasser verlieren. Da nun 1 □′ Wand bei guter Witterung etwa 10 Pf. Wasser täglich verdunstet, so sind 7½ □′ erforderlich, um täglich Sole für 5 Pf. Salz auf diese Weise zu gradiren, oder 7500 □′ für 500 Pf. Salz, und doppelt so viel, wenn die Sole nur 2½° stark ist.

Man gradirt die Sole gewöhnlich nur auf etwa 20° und bringt sie dann durch Einsieden bis zur Sättigung, d. h. bis 27°. Das Versieden geschieht in sehr großen, kaum 15″ tiefen Pfannen, weil die Sole nicht immer kocht (indem man sie oft wieder auffüllt) und die Verdampfung sich dann auch nach der Verdampfungsfläche richtet. Während gesättigte Sole abdampft, scheidet sich Salz ab.

Alaun- und Salpeterlaugen u. a. werden gewöhnlich bloß durch Versieden bis zur Sättigung (bei der Siedehitze) konzentrirt. Bei Alaunlaugen geht die Conzentration bis auf 1,34 (36° B). Bei Salpeterlaugen bis auf 1,44 (45° B). Siedet die Lauge, so steigt der Siedepunkt, sowie sie dichter wird. (Gesättigte Sole wird 109° C heiß.)

§. 386. Ebenso werden Säuren konzentrirt. (194) Die englische Schwefelsäure ist, wenn sie aus den Bleikammern kommt, etwa 40° B stark, und enthält dann noch 50% Wasser. Dieses muß verdampft werden, soll sie (kalt) 66° stark oder von 1,84 spezif. Gewicht seyn. Sehr rasch steigt aber hier der Siedepunkt. Säure von 40° B kocht bei 120° C

„	50	„	„	150 „
„	60	„	„	195 „
„	66	„	„	285 „

Die lezte Conzentration kann daher nicht in bleiernen, sondern nur in gläsernen oder (besser) Plattinretorten veranstaltet werden. Das Blei würde schmelzen und angegriffen.

Kocht eine Flüssigkeit, so verdampft sie schneller, wenn sie bis auf eine mäßige Oeffnung bedeckt, als wenn die ganze Fläche mit der Luft in Berührung ist; denn im leztern Falle erleidet der abziehende Dampf von Seiten der Luft mehr Widerstand, und überdies eine Abkühlung. Man hat daher vortheilhaft gefunden, selbst große Salzpfannen zu bedecken.

Um Brennstoff zu sparen und die Abdampfung zu beschleunigen, ist es oft zweckmäßig, die Ofen so einzurichten, daß die Feuerluft sowohl über als unter der Pfanne vorbeizieht. *)

3) Abdunstungen, um Kälte zu erzeugen.

§. 387. Kein Dampf kann entstehen, ohne daß Wärme gebunden wird. (176) Verwandelt sich 1 Pf. Wasser in Dampf, so werden 540 W latent. Wasser, das verdunstet, muß kälter werden, wenn die verlorene Wärme nicht ersezt wird. Will man also durch Verdunstung Kälte erzeugen, so muß dieselbe (ohne künstliche Wärme) soviel möglich befördert werden.

Um z. B. die gekochte Bierwürze in kurzer Zeit abzukühlen, bringt man sie in sehr große, wenige Zoll tiefe Bassins

*) Oefen der Art s. in Prechtls technolog. Encyclop. Bd. I.

(das Kühlschiff), die in luftigen Räumen stehen. Je größer die Fläche ist, desto mehr Wärme verliert die Flüssigkeit durch Abdunstung und Ausstralen; allein je mehr die Temperatur abnimmt, desto langsamer geht die Abkühlung weiter. Durch Ventilatoren (Windflügel) ließe sie sich beschleunigen. (384)

Auf Maschinentheile, die sich stark erhitzen (bei Walzwerken, Bohrmaschinen u. a.), läßt man oft anhaltend Wasser träufeln, um sie abzukühlen. Das Wasser verdunstet und enzieht dem Körper Wärme.

Destillationen, Dampfmaschinen 2c. erfordern sehr viel kaltes Wasser, da das gebrauchte stets warm wird. Es wäre daher oft zu wünschen, das warmgewordene leicht abkühlen und wieder gebrauchen zu können, und dazu sind Vorrichtungen geeignet, die den Gradirwerken gleichen. *)

§. 388. In dünnen Gefäßen enthaltene Flüssigkeiten können um mehrere Grade abgekühlt werden, wenn man sie mit feuchten Tüchern umhüllt, und so der Sonne oder einem Luftzuge aussezt. Das schnell verdunstende Wasser entzieht in diesem Falle dem Gefäße noch mehr oder weniger Wärme

Dasselbe geschieht, wenn Wasser in sehr porösen thönernen Gefäßen enthalten ist, so daß es fortdauernd durch die Wände durchschwizt, und von einer großen Fläche abdunstet. In mehreren heißen Ländern sind dergleichen Kühlgefäße (wie in Spanien die Alcarazzas) im Gebrauch. (278)

In Indien erzeugt man im Sommer Eis, indem man Wasser des Nachts in dünnen, nur 1″ tiefen Gefäßen, die auf einer hohen Lage Stroh liegen, der Luft aussezt. Die bis zum Gefrieren gehende Erkältung des Wassers beruht hier indessen weniger auf der Ausdunstung, als der Ausstrahlung von Wärmestoff. (157) Das Wasser wird auf dieselbe Weise kalt, wie der Boden in hellen Nächten, wenn Thau entsteht, um so kälter aber, da das Stroh als schlechter Wärmeleiter hindert, daß aus

*) S. meine Dampfmaschinenlehre, S. 282.

der Erde die ausgestrahlte Wärme wieder ersezt wird. Diese Eisbildung gelingt daher vorzüglich in hellen Nächten, und in Ländern, wo der Luftkreis meist sehr rein ist. (365)

§. 389. Man kann endlich zu jeder Zeit etwas Eis erzeugen, wenn man kaltes Wasser (zumal vorher gekochtes) in einer flachen und auf Glasfüßen stehenden Schale zugleich mit einer Schale mit konzentrirter Schwefelsäure unter eine Luftpumpe stellt und die Luft stark verdünnt. In der dünnen Luft verdunstet dann schnell ein Theil des Wassers, und da der Wasserdunst von der Säure begierig eingeschluckt wird (362), so geht die Abdunstung so lebhaft vor, daß das meiste Wasser endlich unter den Gefrierpunkt erkältet und zu Eis wird. Dieses merkwürdige Verfahren, Eis zu erzeugen, wurde zuerst von Leslie angegeben, und es gestattet um so mehr eine praktische Anwendung, da man nur Anfangs die Luft gehörig zu verdünnen braucht.

Dasselbe Verfahren läßt sich übrigens anwenden, um allerlei Substanzen vollständig (und ohne Hitze) auszutrocknen. Bringt man z. B. Fleisch unter die Glocke der Luftpumpe, nebst einer Schale mit Vitriolöl, so wird es in kurzer Zeit, ohne sonst zu leiden, so trocken, daß es sich dann Monate lang halten läßt.

Von andern Anwendungen der Luftpumpe, um die Verdampfung zu befördern, wurde früher gesprochen. (311)

11) Grundsätze der Destillation.

§. 390. Häufig wendet man die Wärme an, um flüchtige Substanzen von nicht flüchtigen oder minder flüchtigen zu sondern. Durch die Hitze werden nämlich ausschließlich oder vorzugsweise nur jene in Dampf verwandelt, und der Dampf kann darauf durch Erkältung wieder verdichtet oder kondensirt werden.

Erhält man durch diese Kondensirung eine Flüssigkeit, so heißt diese doppelte Operation eine Destillation: erhält man eine feste Materie, so heißt sie eine Sublimation.

So gewinnt man durch Destillation aus unreinem Wasser oder Seewasser reines Wasser, aus Eisenvitriol die Schwefelsäure, aus einem Gemische von Kochsalz oder von Salpeter und Schwefelsäure die Kochsalz- oder Salpetersäure, aus Amalgamen das Quecksilber u. s. w.

So gewinnt man durch Sublimation aus Materien, die diese Substanzen enthalten, den Schwefel, den Zinnober, den Kienruß, den Salmiak u. a. m.

Bisweilen verflüchtigen sich zugleich Dämpfe und Luftarten. Wird z. B. Steinkohle oder Holz in verschlossenen Gefäßen geglüht, so verflüchtigen sich brennbare Luftarten und ölige Dämpfe, und durch die Erkältung werden dann nur die leztern kondensirt.

§. 391. Jeder Destillations-Apparat besteht aus zwei Theilen, aus dem, der zur Erhitzung und Verflüchtigung, und aus dem, der zur Abkühlung und Kondensirung dient.

Im Kleinen kann man z. B. Wasser destilliren, wenn man es in der Retorte a (Fig. 54) zum Kochen bringt, und die Dämpfe in eine Vorlage b steigen läßt, die beständig kalt gehalten wird.

Je mehr Hitze die Flüssigkeit erhält, desto mehr Dampf bildet sich, desto mehr Wärme muß diesem aber wieder entzogen werden. Die Verflüchtigung hat also um so rascher Statt, je stärker die Hitze und je größer die Feuerfläche ist, und die Kondensirung, je größer und kälter die Abkühlungsfläche ist.

Die Erfahrung lehrt, daß in gewöhnlichen Kesseln bei guter Feuerung 1 □′ Heizfläche 6 — 7 Pf. kaltes Wasser per Stunde verdampft; um also 60 Pf. Wasser zu verdampfen oder 1 Pf. per Minute, müßte die mit dem Feuer und Wasser in Berührung stehende Kesselfläche 9 — 10 □′ betragen.

1 Pf. reiner Weingeist oder Alkohol siedet schon bei 78° und erheischt zur Verdampfung nicht 640, sondern nur etwa 262 W,

oder $^2/_5$ soviel als das Wasser. 1 □′ Heizfläche wird also $^5/_2 \times 6$ oder an 15 Pf. Alkohol per Stunde verdampfen.

Ebenso mag 1 Pf. Steinkohle 6 Pf. Wasser oder 15 Pf. Alkohol in Dampf verwandeln können.

Die Erfahrung lehrt ferner, daß eine Röhre von Gußeisen oder Schwarzblech, durch welche Wasserdampf von 100° geht, und die von aussen mit kalter Luft in Berührung ist, per □′ kaum $^2/_5$ Pf. Dampf in einer Stunde kondensirt; und eine kupferne Röhre kaum $^3/_{10}$ Pf.; *) daß aber leztere mit Wasser (von 20°) in Berührung 11 — 12 Pf. Dampf verdichten kann, oder fast 40mal mehr.

§. 392. Um in kurzer Zeit viel Dampf zu kondensiren, muß man ihn daher durch Röhren führen, die eine große Oberfläche haben, und die aussen mit kaltem Wasser in Berührung sind.

Gewöhnlich wendet man eine Schlangenröhre a b (Fig. 60) an, die in einem mit Wasser gefüllten Behälter d steht, und sorgt für fortwährende Erneuerung des Kühlwassers. Am besten geschieht dies, wenn man beständig kaltes Wasser, durch eine Röhre e am Boden des Behälters hineinfließen, und das heiße Wasser oben abfließen läßt, da das Wasser, sowie es wärmer wird, fortwährend in die Höhe steigt. Fließen in einer Stunde 100 Pf. Wasser von 12° ein, und ebensoviel von 50° ab, so muß dieses Wasser (da es um 38° wärmer wird) dem Dampf 3800 W entziehen. Wird der Dampf in Wasser von 40° verwandelt, so verliert jedes Pfund Dampf 600 W, und es werden demnach $\frac{3800}{600}$ oder $6^1/_3$ Pf. Dampf kondensirt werden können.

Wenden wir diese Grundsätze auf die weit am häufigsten vorkommende Destillation, die des Branntweins, an, so ist zu beachten, daß, wenn Wein- oder Branntweinmaische zum Kochen

---

*) Wir haben oben (376) sogar nur $^1/_4$ für kupferne, und nur $^1/_5$ Pf. für gußeiserne angenommen.

gebracht wird, auch Anfangs nicht bloß der Weingeist sich verflüchtigt, obgleich er viel flüchtiger als das Wasser ist.

Enthält z. B. die Maische (wie gewöhnlich) etwa 4% Alkohol, so muß man an 1/5 oder 22% derselben verdampfen, damit der Rückstand soviel als keine Weingeisttheile enthalte. Mit dem Alkohol verflüchtigt sich nämlich immer sehr viel Wasser.

Destillirt man also 100 Pf. solcher Maische, so produzirt man 22 Pf. Dampf, der aus 4 Pf. Alkoholdampf und 18 Pf. Wasserdampf besteht; und ist die Maische von 0°, so bedarf es

für 4 Pf. Alkoholdampf	4·262	oder	1048 W.
und für 18 „ Wasserdampf	18·640	„	11580 „
		oder	12628 W.
und zur Erhitzung der übrigen 78 Pf. Maische auf 100°	. . . .		7800 W.
		in Summa also	20428 W.

und wenn 1 Pf. Steinkohlen 3600 W geben, an 5½ Pf. Steink.

Wenn ferner 1 □′ Feuerfläche wenigstens 7 Pf. Dampf per Stunde liefert (weil der Dampf weingeisthaltig ist), so wären 3 □′ nöthig, damit jene Masse in einer Stunde übergetrieben würde.

§. 393. Ebenso läßt sich der Kühlapparat berechnen.

Verwandeln sich jene 22 Pf. Dampf in Flüssigkeit von 40°, so behalten sie noch c^a 880 W und müssen also 11748 W verlieren.

Wendet man also Kühlwasser von 12° an, und fließt es 50° warm ab, so daß 1 Pf. 38 W aufnimmt, so sind $\frac{11748}{38}$ oder 367 Pf. nöthig.

Und da die mittlere Temperatur $= \frac{12 + 50}{2} = 31°$ ist, so wird die Kühlfläche c^a 3 □′ groß seyn müssen, um in einer Stunde 22 Pf. zu verdichten, oder die Röhre 9′ lang, wenn sie 1/3′ Umfang hat. *)

*) Da das Kühlwasser oft noch wärmer abfließt, so rechnet man gewöhnlich, daß die Kühlfläche wenigstens der Feuerfläche gleich kommen muß.

Fließt das Wasser heißer ab, so bedarf es weniger Wasser, aber einer längern Röhre ꝛc. und umgekehrt.

Man sieht leicht, daß die Tiefe der Blase (des Kessels) ziemlich gleichgültig ist; denn die Dampfmenge richtet sich einzig nach der Feuerfläche und der Intensität des Feuers. Niedrige müssen nur öfter gefüllt werden.

Hingegen läßt sich mit Vortheil die Maische selbst zur Abkühlung gebrauchen und dadurch erwärmen. Es sind dann zwei Kühlapparate A und B (Fig. 58) nöthig.

Läßt man durch A die Maische fließen, so daß sich die 100 Pf. auch nur um 60° erwärmen, so werden 6000 W dadurch absorbirt und also utilisirt, und man braucht 1) um so weniger Brennstoff, um sie in der Blase zum Kochen zu bringen, und 2) um so viel weniger Kühlwasser in B.

Da der durch diese erste Destillation erhaltene Branntwein (Lutter) zu schwach ist, so muß er noch einmal abgezogen werden; ein Verfahren, das indessen auf denselben Prinzipien beruht.

Mit diesen Berechnungen stimmen zwar wenig die Angaben von der schottischen Branntweinbrennerei überein. Dort soll man es nämlich (da das Abgabensystem zu einer möglichsten Beschleunigung der Destillation nöthigte) durch übermäßige Feuerung unter sehr niedrigen Blasen dahin gebracht haben, daß man in Blasen von 15 □′ Feuerfläche an 300 Pf. Maische in drei Minuten brennt. Nimmt man auch an, daß die Maische fast zum Kochen erwärmt in die Blase kommt, und daß überdies wegen der überaus starken Feuerung 1 □′ Fläche 15 Pf. Dampf per Stunde oder $\frac{1}{4}$ per Minute liefert, so könnte die Blase in drei Minuten doch nur 11 Pf. geben, während doch wenigstens $\frac{1}{6}$ oder 50 Pf. übergehen sollen. Es ist daher wahrscheinlich, daß 1) bei jener sehr großen Erhitzung 1 □′ noch mehr Dampf liefern kann, 2) daß man weniger Dampf als gewöhnlich aus der Maische abtreibt, und 3) daß wirklich weit größere Blasen angewendet werden.

§. 394. In neuerer Zeit hat man aber die Destillation der geistigen Flüssigkeiten noch auf andere Weise (besonders in Frankreich) vervollkommnet und so einzurichten gewußt, daß eine

einzige Destillation zur Erzeugung eines sehr konzentrirten Weingeistes hinreicht.

Eine Beschreibung der, mitunter sehr komplizirten, Apparate würde hier zu weit führen. Wir geben also nur die Hauptprinzipien an, die denselben zum Grunde liegen.

Diese Methoden gründen sich 1) darauf, daß, wenn wasserreicher Branntweindampf etwas erkältet wird, vorzugsweise Wässerigkeit kondensirt wird.

Sezt man also z. B. auf die Blase a (Fig. 55) einen geräumigen Helm b, und hält man diesen ziemlich kalt, so erleidet der aufsteigende Dampf in dem Helm eine Abkühlung; da sich aber hauptsächlich Wassertheile verdichten und diese in die Blase zurückfließen, so ist der in das Rohr c tretende Dampf viel alkoholreicher, und liefert demnach einen viel stärkern Branntwein.

2) Gründen sich diese Methoden auf das Prinzip, daß der Siedepunkt einer geistigen Flüssigkeit um so eher eintritt, je mehr Weingeist sie enthält, und daß die Dämpfe selbst dann um so reicher an Alkohol sind.

Läßt man daher den ersten Dampf aus einer Blase a (Fig. 59) in ein verschlossenes Gefäß b, das zum Theil mit Maische gefüllt ist, steigen, so wird diese durch den Dampf weingeisthaltiger und erwärmt; sie fängt daher bei einer niedrigern Temperatur zu sieden an, und der Dampf ist geistiger als der aus a kommende. Läßt man nun diesen in ein zweites Gefäß c steigen, das ebenso Maische enthält, so siedet diese noch eher und der Dampf wird noch geistiger. So kann man durch Vermehrung dieser Gefäße (oder Eier) einen immer stärkern Dampf erzeugen, und indem man den lezten im Kühlgefäß z verdichtet, einen sehr konzentrirten Weingeist erhalten. Die Maische wird natürlich von Zeit zu Zeit aus den Eiern abgezogen.

12) Erkältung und Condensirung der Dämpfe.

§. 392. Bei jedem Temperaturgrade kann Dampf existiren, jedem entspricht aber eine eigene Dichtigkeit und Elastizität des Dampfes. (187)

Bei 100° kommt der Druck des Wasserdampfes dem der Atmosphäre oder einer Quecksilbersäule von 28″ gleich.

Bei 90° ist er nur	= 19½″.		Bei 80	= 13,2″.
„ 70	do.	= 8⅔″.	„ 60	= 5,5″.
„ 50	do.	= 3½″.	„ 40	= 2″.
„ 30	do.	= 1,1″.	„ 20	= 0,6″.
„ 10	do.	= 0,35″.	„ 0°	= 0,13″.

Und beinahe in demselben Verhältnisse vermindert sich die Dichtigkeit.

Füllt man also ein Gefäß mit Dampf von 100° (so daß es bloß Dampf enhält) und erkältet man es auf 80°, so wird wenigstens die Hälfte des Dampfes zu Wasser, und das Gefäß ist dann zwar noch voll Dampf, dieser ist aber nur halb so dicht und so elastisch. Wird er von 100° auf 40° erkältet, so werden $^{13}/_{14}$ niedergeschlagen oder kondensirt, und der übrigbleibende Dampf ist 14mal dünner und schwächer.

Leicht möchte dann ohne Zweifel der äussere Luftdruck das Gefäß zerbrechen, wenn es nicht eine bedeutende Stärke hat; denn während die Luft mit 15 Pf. per □″ auf die Aussenseite drückt, drückt der Dampf nur mit etwa 1 Pf. entgegen. Und öffnet man es unter Wasser, so würde dieses hineindringen und den Raum fast augenblicklich füllen, da auch der übrige Dampf durch die fernere Erkältung zerstört werden muß.

§. 396. Die Kondensirung des eingeschlossenen Dampfes durch Erkältung bietet demnach ein Mittel dar, eine Art Vacuum oder leeren Raum hervorzubringen, und zu mehreren Zwecken gestattet dasselbe eine Anwendung.

Will man in ein Gefäß mit sehr enger Mündung, z. B. in die Kugel a (Fig. 61) etwas Wasser bringen, was durch Eingießen nicht möglich ist, so braucht man sie nur zuerst zu erwärmen, so daß ein Theil der Luft hinausgetrieben wird, und dann, während sie erkaltet, die Mündung b in das Wasser zu tauchen. Auf diese Weise kann sie aber nicht ganz gefüllt werden, weil ein Theil der Luft zurückbleibt.

Will man a ganz mit Wasser füllen, so verfährt man also:

Man bringt das bei jener ersten Erwärmung hineingetretene Wasser über Feuer zum Kochen, so daß die Kugel sich mit Dampf füllt und der Dampf alle Luft entfernt. Taucht man darauf die Mündung der Röhre in Wasser, so wird dieses sehr schnell den ganzen Raum a einnehmen. Auf diese Weise füllt man auch mit Quecksilber oder Weingeist die Thermometer.

§. 397. Will man eine Flüssigkeit (z. B. Zuckersyrup) bei einem **niedrigern Wärmegrad** verdampfen, so muß der gewöhnliche Luftdruck über derselben vermindert werden, denn dann nur siedet sie bei geringerer Hitze. Man kann zu diesem Ende Luftpumpen anwenden (311); es kann aber auch auf folgende Weise geschehen:

Man läßt, wie die Flüssigkeit zu kochen anfängt, den Dampf in eine große Vorlage steigen, bis auch aus dieser alle Luft ausgetrieben ist. Dann wird der Apparat luftdicht geschlossen und die Vorlage durch kaltes Wasser fortwährend abgekühlt. Es muß sich dann nicht nur der Dampf in der Vorlage fortdauernd kondensiren, sondern das Innere wird einen so schwachen Dampf enthalten, daß die Flüssigkeit unter diesem Drucke weit leichter siedet und verdampft. *)

Früchte, die man in Flaschen aufbewahren will, halten sich vornehmlich darum nicht, weil die zugleich mit eingeschlossene Luft schädlich wirkt. Sie werden sich daher weit besser halten, wenn man die mit den Früchten gefüllte Flasche vorerst so lange in siedendes Wasser taucht, bis alle Zwischenräume ganz mit Dampf erfüllt sind, und sie dann in diesem Zustande völlig luftdicht zustopft und verpicht.

---

*) Diese Kondensirung erkaltender Dämpfe kann oft auch eine nachtheilige Wirkung haben, und macht daher Vorsichtsmaßregeln nöthig. Erzeugt man z. B. Dampf in dem Kessel a (Fig. 52), um Wasser im Gefäße p zu heizen, so wird, wenn zufälliger Weise a etwas erkaltet, das Wasser sofort aus p in die Röhre c und den Kessel steigen. Es ist daher nothwendig, für eine ununterbrochene Dampfbildung zu sorgen, oder den Kessel mit einem einwärtsgehenden, sowie c mit einem verkehrtstehenden Ventile zu versehen.

§. 398. Insbesondere macht man aber von der Erkältung des Dampfes, um eine Art Vacuum zu bewerkstelligen, bei den Dampfmaschinen Gebrauch.

Schon die erste Art dieser Maschinen gründete sich auf ein abwechselndes Einströmen und Erkälten des Dampfes, wodurch Wasser gehoben werden konnte; und auch jezt wenden die allermeisten Cylindermaschinen dieses Prinzip an.

Soll nämlich vermittelst des Dampfes ein Kolben p (Fig. 64) wechselsweise auf- und niederbewegt werden, so läßt man bei den sogen. atmosphärischen Dampfmaschinen, damit der Kolben steige, Dampf durch o unter denselben gelangen. Da nun der Kolben von beiden Seiten einen gleichen Druck erleidet, so kann ein Gegengewicht n ihn heben. Um darauf das Niedergehen zu bewirken, wird o geschlossen und durch q der Dampf in einen Behälter gezogen, wo er mit kaltem Wasser in Berührung kommt und sich verdichtet. Wird er nämlich dadurch auf 40° z. B. erkältet, so daß er (wenn keine Luft beigemischt wäre) 14mal schwächer wird (395), so vermag die äussere Luft, den Kolben nebst dem Gewichte n niederzudrücken.

§. 399. Auf ähnliche Weise geschieht das Kolbenspiel in den eigentlichen Dampfmaschinen. Der Cylinder ist hier an beiden Enden dampfdicht verschlossen, und der Dampf wird abwechselnd über den Kolben gelassen und unter demselben kondensirt, und darauf in den untern Theil eingeführt und im obern kondensirt.

Im Kühlapparate (dem Kondensator) arbeitet eine Art Luftpumpe, die den Dampf aus dem Cylinder zieht und das gebrauchte und heißgewordene Wasser stets wieder herausgeschafft. Eine andere Pumpe führt dieser Cisterne das Kühlwasser zu.

Diese Kondensirung erfordert gewöhnlich ein sehr bedeutendes Quantum Wasser.

Rechnet man nämlich, daß eine Maschine per Pferdekraft etwa 1 Pf. Dampf per Minute verbraucht, so müssen bei einer Maschine von 20 Pferden 20 Pf. kondensirt werden. Und soll der Dampf zu Wasser von 40° erkalten, so muß jedes Pfund an

600 W, jenes Dampfquantum also an 12,000 W abgeben, und ist also das Kühlwasser von 12°, so sind an $\frac{12000}{28}$ oder an 430 Pf. Wasser per Minute erforderlich, da 1 Pf. 28 W aufnimmt, um 40° warm zu werden.

13) Von der Erzeugung des Wasserdampfes.

§. 400. Soll Wasserdampf erzeugt werden, um seine Wärme oder seine Druckkraft zu benutzen, so müssen auf's sorgfältigste die Bedingungen studirt werden, unter denen die Dampfbildung Statt hat, und die verschiedenen Eigenschaften, die der Dampf erlangt.

Gewöhnlich bedient man sich im Großen zur Erzeugung des Dampfes metallener Kessel aus starkem Kupfer- oder Eisenblech, seltner gußeiserner; man gibt denselben, weil sie so einem größern Druck widerstehen, eine rundliche Form und setzt sie so dem Feuer aus, daß möglichst viele Hitze in das Wasser übergeht oder utilisirt wird.

Da der Dampf verwendet werden soll, so läßt man ihn durch ein einziges Rohr abziehen und der ganze Kessel ist bis auf die Mündung dieses Rohres verschlossen. Gewöhnlich ist der Kessel bis zur Hälfte oder ⅔ mit Wasser gefüllt, und dafür gesorgt, daß fortdauernd so viel Wasser zufließt, als er durch den Dampfabfluß verliert. (551) Diese Speisung des Kessels heißt auch die Alimentation desselben und erfordert eigene Vorrichtungen.

Große Dampfkessel enthalten oft 100 und mehr Cubikfuß Wasser. Nehmen wir indessen zur Vereinfachung der Berechnungen an, der Kessel a (Fig. 62) enthalte nur 100 Pf. und es habe vorerst keine Nachfüllung Statt.

Ist der Barometerstand der Atmosphäre = 28″, so wird das Wasser bei 100° C kochen, und hiemit, wenn es Anfangs 20° warm ist, 8000 W aufnehmen müssen. Wie der obere Raum sich mit Dampf anfüllt, wird die Luft vorerst und dann auch Dampf durch das Rohr b abströmen.

§. 401. Findet der Abfluß des Dampfes keine Art Hinderniß, so ist kein Grund vorhanden, daß seine Elastizität zunehmen sollte. Die Temperatur des Wassers wird daher nicht steigen, und aller hinzukommende Wärmestoff zur Dampfbildung v er wendet; und da 540 W nöthig sind, um 1 Pf. siedendes Wasser in Dampf zu verwandeln, so würden noch 54,000 W erfordert, um alles Wasser zu verdampfen.

Wird hingegen, durch eine Klappe etwa, der Abfluß des Dampfes verhindert, so wird der eingeschlossene Dampf im Raume c allmählig dichter, elastischer und wärmer; in demselben Verhältniß muß aber auch die ganze Wassermasse wärmer werden, weil das Wasser, um sieden zu können, um so heißer seyn muß, je stärker der Druck über demselben ist. Dampf und Wasser werden stets gleich warm seyn, wofern der bloß mit Dampf in Berührung stehende Theil des Kessels nicht besonders stark erhizt oder erkältet wird. Ein in den Dampf gesenkter Thermometer wird also die Temperatur von beiden angeben, und diese wird nur langsam steigen; denn wären z. B. noch 90 Pf. Wasser im Kessel, wenn der Abfluß gesperrt wird, so müßte das Wasser 900 W aufnehmen, damit die Temperatur um 10° steigen könnte.

§. 402. Sehr schnell wächst aber die Dichtigkeit und Elastizität des Dampfes, wie man mit Hülfe eines Manometers e beobachten kann. Bei 112° C hat der Dampf schon die Spannkraft von 1½ Atmosph., so daß er die Quecksilbersäule im Heber e um 14″ höher zu halten vermag.

Bei 122° C ist der Druck dem von 2 Atmosph. gleich.
Bei 129 dem von 3½ Atmosph.

„ 135	do.	3	„	
„ 140½	do.	3½	„	
„ 145	do.	4	„	
„ 154	do.	5	„	
„ 160	do.	6	„	u. s. w.

Bei 245° erreicht er schon den Druck von 35 Atmosph.

Fast in demselben Verhältnisse nimmt auch die Dichtigkeit zu, so daß 1 Cub.′ Dampf von 2 Atmosph. Druck etwa 2mal schwerer ist, als 1 Cub.′ Dampf von 1 Atmosph. Druck. *)

Da dieser stärkere Dampf gerade wie komprimirte Luft nach allen Seiten sich auszudehnen strebt, so nimmt im Verhältniß der Spannung sein Druck auf den ganzen Kessel zu, und bald erreicht derselbe eine gefährliche Stärke. Doppelter Dampf übt auf 1 □′ des Kessels schon einen Mehrdruck von 1 Atmosph. also von 21 Ztr. aus, und vierfacher einen von 3 Atmosph. oder von 64 Ztr.

Um der Vermehrung dieses Drucks Schranken zu setzen, versieht man den Kessel mit einer Sicherheitsklappe, d. h. mit einem Ventil, das mit einem bestimmten Gewichte beschwert ist. Soll z. B. das Maximum des Dampfdrucks nur 2 Atmosph. betragen, so wird das Ventil per □″ des Querschnitts bloß mit 15 Pf. beladen; denn, so wie der Dampf stärker wird, muß er das Ventil heben und entweichen. **)

Läßt man den Dampf, nachdem er eine höhere Spannung erlangt, frei ausströmen, so sinkt seine Elastizität und seine Temperatur bis auf 100°. Da aber ebenso auch die des Kesselwassers abnehmen muß, so wird daraus eine Menge Dampf (spontan) erzeugt.

Enthält z. B. der Kessel 200 Pf. Wasser, wenn bei Oeffnung der Klappe der Dampf einen doppelten Druck besizt, so

*) Auf 1 Pf. (engl.) gehen 25,2 Cub.′ einfacher Dampf, 13,3 Cub.′ zweifacher, 9,2 Cub.′ dreifacher und 7,2 Cub.′ vierfacher ꝛc.

**) Soll indessen ein solches Ventil genügend schützen, so muß es eine gehörige Fläche haben und nicht zu stark cohäriren. Zwei Ventile werden daher rathsam. Es gibt übrigens noch andere Schutzmittel, wie z. B. Stöpsel von einem leichtflüssigen Metallgemisch. (185) Ist ein solcher von einer Mischung, die bei 135° schmilzt, so kann die Wärme des Dampfs nicht über diese Temperatur und daher die Spannung nicht über die von drei Atmosph. steigen. S. meine Dampfmaschinenlehre (Stuttgart und Tübingen 1833, J. G. Cotta'sche Buchhandlung) S. 224 fg.

muß die Temperatur des Wassers von 122° auf 100° sinken; es werden hiemit aus demselben allein 200 × 22 oder 4400 W frei werden, und diese $\frac{4400}{640}$ oder etwa 8 Pf. Dampf erzeugen, der ebenfalls allmählig ausströmen wird. Man verliert daher immer sehr viel Wärme, wenn man aus einem Kessel, der stark drückenden Dampf enthält, diesen frei in die Luft entweichen läßt, und um so mehr, je größer die Menge des Kesselwassers und je heißer es ist. *)

§. 403. Kann der Dampf, sowie er erzeugt wird, durch eine Oeffnung im Deckel entweichen, so kann, wie schon gesagt, der Dampf nicht über 100° heiß werden. Ist jedoch die Oeffnung so eng, daß nicht so viel Dampf entweichen kann, als erzeugt wird, so muß das Wasser heißer und der Dampf dichter werden. Da aber mit der steigenden Dichtigkeit und Elastizität der Dampf auch immer geschwinder ausströmt, so tritt auch dann zuletzt das Gleichgewicht ein, und eine Grenze, so daß nun der Dampf weder heißer noch stärker werden kann.

Versuche zeigen, daß auch im heftigsten Feuer der Dampf nicht über 112° heiß werden kann, wenn die Oeffnung 1/6000 der Feuerfläche beträgt, und nicht über 137°, wenn sie 1/20000 derselben beträgt. Ist die untere Fläche eines Kessels also 10 □′ groß, so wird eine 1 □″ weite Röhre bei den meisten Feuerungen schon unmöglich machen, daß der Dampf einen Druck von mehr als 2 Atmosph. erreichte, und sollte demnach das Wasser in einem Avivirkessel (bei Rothfärbereien) an 130° heiß werden, so müßte die Dampfröhre verhältnißmäßig noch viel enger seyn. (348)

Aus diesen Versuchen ergibt sich denn auch, daß der Dampf mit ausnehmender Geschwindigkeit ausströmt. Dampf von 105° hat, in die Luft ausströmend, eine Geschwindigkeit von mehr als 600′ per Sekunde, bei 120° eine von 1000′ und bei 135° eine von 1200′. Und daraus ersehen wir, daß die Dampfröhren zur Fortleitung desselben nicht sehr weit zu seyn brauchen.

§. 404. So wie ferner der Dampf stärker und wärmer werden muß, wenn die Oeffnung, durch die er entweichen kann, zu

*) S. Dampfmaschinenlehre, S. 81 fg.

klein ist, so geschieht dies auch, wenn irgend ein anders Hinderniß seiner Expandirung im Wege steht. Auf diese Weise muß der Dampf bei Dampfmaschinen eine höhere Spannung erlangen.

Gesezt nämlich, der Kolben p (Fig. 63), den der durch o unter denselben strömende Dampf bewegen soll, leiste einen Widerstand von 1200 Pf. und die Kreisfläche betrage 100 □″, so muß der Dampf auf jeden □″ mit einer Kraft gegen den Kolben drücken, die um 12 Pf. größer ist, als die, welche die andere Seite des Kolbens erfährt. Ist diese also mit der Luft in Verbindung, so daß der Luftdruck entgegenwirkt, so muß der Dampf im Kessel wenigstens die Spannung von 1⁴/₅ Atmosph. erreichen, damit der Kolben zum Weichen gebracht werde, denn nur dann übersteigt sein Druck per □″ den der Luft um 12 Pf. Steht hingegen die Rückseite des Kolbens durch q mit einem Kondensator in Verbindung, und wird dadurch der Dampf so verdünnt, daß sein Druck nur 5 Pf. beträgt, so braucht der Kesseldampf nur einen Druck von 17 Pf. auszuüben, und er wird hiemit nur die Spannung von 1²/₁₅ Atmosph. erlangen, denn wie er diese erreicht hat, weicht der Kolben, so daß der Dampf sich ausdehnen kann.

Wird der Dampf abwechselnd über und unter den Kolben geführt, während jedesmal die Rückseite mit der Luft oder dem Kondensator in Verbindung gesezt wird, so wird der Kolben fortwährend auf- und niedergehen, wofern der Dampf beständig die erforderliche Spannung behält; und diese wird er beibehalten, wenn in derselben Zeit eben so viel Dampf erzeugt wird, als in den Dampfcylinder überströmt.

§. 405. Strömt der Dampf fortwährend in den Cylinder, so ist der Verbrauch leicht zu berechnen, insofern kein Verlust und keine Erkältung anzunehmen wäre.

Ist nämlich der Querschnitt des Cylinders 2 □′ groß, und macht er per Minute 40 einfache Hübe von 4′, hiemit einen Weg von 160′, so werden per Minute 320 Cub.′ Dampf

verbraucht, oder 16 Pf. wenn 20 Cub.′ dieses Dampfes auf 1 Pf. gehen. (191)

Es müssen demnach auch per Minute 16 Pf. Wasser in Dampf verwandelt werden.

Die Erfahrung lehrt nun, daß bei gewöhnlichen großen Kesseln und guter Feuerung 1 □′ Feuerfläche $1/8$ oder $1/9$ Pf. Dampf per Minute erzeugt; um 16 Pf. zu liefern, muß also die Fläche des Kessels, die dem Feuer ausgesezt ist, etwa 16 × $8\frac{1}{2}$ oder 136 □′ groß seyn.

§. 406. Soll die Dampfproduktion ohne Unterbrechung und gleichförmig fortgehen, so muß für eine reguläre Alimentation gesorgt seyn. Dies ist auch nöthig, damit der Wasserstand im Kessel immer derselbe bleibe. Denn sinkt dieser zu tief, so hat dies mehrfachen Nachtheil. Es ist weniger Wasser mit der Hitzfläche in Berührung und darum wird weniger Dampf erzeugt. Ferner wird die vom Wasser entblößte Fläche zu heiß und dadurch der Dampf selbst geheizt oder überhizt. Es kann endlich, wenn jener Theil des Kessels bis zum Glühen heiß wird und das Wasser wieder damit in Berührung kommt, plötzlich eine so große Menge Dampf sich bilden, daß der Kessel trotz der Sicherheitsklappe zersprengt wird. (351)

Die Vorsicht erheischt daher, daß man auch an jedem Kessel Röhren oder Hähne anbringt, um daran öfters den Wasserstand wahrzunehmen. *) (96)

Ist der Abfluß des Dampfes unregelmäßig, so muß auch die Spannung desselben im Dampfraume variren. Diese Schwankungen würden aber viel größer seyn, wenn nicht, so wie der Druck sich vermehrt, die Verdampfung des Wassers gehindert, und umgekehrt, so wie er schwächer wird, die spontane Dampfbildung hervorgerufen würde.

---

*) S. meine Dampfmaschinenlehre, S. 193.

Die Menge von Brennmaterial, die zur Erzeugung eines gegebenen Quantums Dampf erforderlich ist, hängt insbesondere von der Konstruktion des Ofens ab. Bei der zweckmäßigsten Einrichtung im Großen rechnet man, daß 1 Pf. Holz 3 — 3½ Pf. Dampf und 1 Pf. gute Steinkohle 6 — 7 Pf. produziren kann.

Kommt es endlich darauf an, in kleinen Kesseln möglichst vielen Dampf zu erzeugen (wie namentlich auf Dampfwagen), so muß man die Feuerfläche möglichst zu vergrößern suchen. Es geschieht dies, indem man das Wasser in vielen nicht weiten Röhren zum Sieden bringt, oder das Feuer durch solche durch das Wasser gehende Röhren ziehen läßt. *)

14) Von der Anwendung der Expansivkraft des Dampfes.

§. 407. Jeder weiß, daß man unter Dampfmaschinen Maschinen versteht, die uns in den Stand setzen, die Elastizität des Dampfes als mechanische Kraft zu benutzen, und Jeder, daß die Erfindung dieser Maschinen eine der wichtigsten ist, die der Mensch je gemacht hat.

Eine erste Art von Dampfmaschinen brachte der Engländer Savery um's Jahr 1700 zu Stande. Etwas später (1705) erfand Newkommen die sogen. atmosphärische Dampfmaschine, welche die erste Cylindermaschine war und nach dem durch Fig. 64 erläuterten Prinzip wirkte. Eine ungleich vollkommnere Einrichtung gab ihr J. Watt (von 1770 — 85). Er führte zuerst einen Kondensator, d. h. einen getrennten Apparat zur Verdichtung des Dampfes, nachdem er auf den Kolben gewirkt, ein; einen an beiden Enden geschlossenen Cylinder, so daß nicht die äussere Luft, sondern die elastische Kraft des Dampfes selbst nur den Kolben wechselsweise trieb; und allerlei Vorrichtungen, um den Gang der Maschine zu reguliren, Brennstoff zu sparen u. s. w. Und seit Watt sind noch unzählige Veränderungen vorgenommen worden.

*) S. meine Dampfmaschinenlehre, S. 166 — 177.

Wir können uns hier nicht in eine Darstellung einer Dampfmaschine in ihrem Zusammenhange einlassen, und noch weniger die verschiedenen Systeme auseinandersetzen, nach denen gegenwärtig solche Maschinen konstruirt werden. *) Manche einzelne Theile derselben sind übrigens an andern Orten erläutert.

Hier nur Einiges über die Berechnung der mechanischen Kraft, die sich durch eine Dampfmaschine erhalten läßt.

§. 408. Bei einer sogenannten doppeltwirkenden Maschine wird der Kolben p dadurch hin- und herbewegt, daß man den Dampf wechselsweise durch a und b über oder unter den Kolben einströmen, zugleich aber die Rückseite durch x und y mit dem Kondensator oder der Luft in Verbindung sezt.

Kennt man die Elastizität des Dampfs, die der Luft oder des verdünnten Dampfes auf der Rückseite des Kolbens, und kennt man ferner die Größe des Kolbens und die Geschwindigkeit desselben, so muß es leicht seyn, die absolute Kraft der Maschine zu bestimmen.

Gesezt nämlich, der Dampf habe (dem Manometer zufolge) eine Pression von 18 Pf. per □'', und der verdünnte (was ein Barometer im Kondensator anzeigen kann) eine von 4 Pf. per □'', so beträgt der Mehrdruck des Dampfes 14 Pf. Hat also die Oberfläche des Kolbens 100 □'' und macht der Kolben einen Weg von 200' per Minute, so muß die Wirkung einer Kraft von 1400 Pf. gleich seyn, die 200' Weg machte, oder einer von $1400 \times 200 = 280{,}000$ Pf. mit der Geschwindigkeit von 1' per Minute.

Auf diese Weise fände man jedoch nur den theoretischen (oder rein dynamischen) Effekt; der reelle oder benutzbare wird bedeutend geringer seyn, weil namentlich zur Ueberwindung der mancherlei Reibungen 2c. ein Theil der Kraft verwendet werden

---

*) Ausführlich und doch möglichst faßlich habe ich die Geschichte, die Theorie und Construktion dieser Maschinen behandelt in dem „Handbuch der Dampfmaschinenlehre", Stuttgart und Tübingen 1835, J. G. Cotta'sche Buchhandlung, 8.

muß. Weiß man indessen aus der Erfahrung an ähnlichen Maschinen, daß dieser Verlust auf $^1/_3$ anzuschlagen ist, so würde der Nutzeffekt ziemlich genau zu 280,000 × $^2/_3$ oder zu wenigstens 180,000 Pf. zu rechnen seyn.

Gewöhnlich gibt man die Kraft dieser Maschinen in Pferdekräften an, und rechnet die Pferdekraft zu 32,000 Pf. (auf 1′ per Minute) gehoben. Demnach käme obiger Maschine ein Effekt von c^a 6 Pferdekräften zu.

§. 409. Unschwer ist ferner das Dampfquantum zu berechnen, das diesen Effekt hervorbringt. Hat der Cylinder einen Querschnitt von 100 □″ oder $\frac{100}{144}$ □′, so erhält er (wenn der Dampf kontinuirlich einströmt) per Minute $200 \times \frac{100}{144} = 140$ Cub.′ Dampf. Und drückt dieser mit 18 statt mit 15 Pf. per □″, so ist er um so viel dichter, d. h. etwa $\frac{15}{18} \times 24$ oder 20 Cub.′ wägen 1 Pf. Es würden demnach per Minute 7 Pf. Dampf erfordert.

Gewöhnlich rechnet man in ähnlichen Maschinen 1 Pf. Dampf per Minute und per Pferdekraft; und in der That muß der Dampfkonsum etwas kleiner seyn, weil das Einströmen des Dampfes nicht völlig ununterbrochen Statt findet.

Das Kostbarste bei einer Dampfmaschine ist das Brennmaterial. Verzehrt sie täglich 20 Ztr. Steinkohle, so konsumirt sie im Jahr 6 — 7000 Ztr. Man beurtheilt daher oft den Nutzeffekt einer Maschine nach dem Effekt, den 1 Ztr. oder (in England) 1 Bushel Steinkohle hervorbringt.

Eine gute Watt'sche Maschine von 8 Pferdekraft verbraucht etwa 1 Bushel, eine von 20 Pferdekraft 2 Bush., eine von 36 Pferdekraft an 3 Bushel gute Steinkohle per Stunde. 1 Bushel Kohle produzirt also bei einer 20pferdigen Maschine die Kraft von 10 Pferden in 60 Minuten, d. h. eine Kraft von = 33,000 × 10 × 60 oder die von 20 Mill. Pf. 1′ hoch. (So viel Wasser z. B. soll eine solche Maschine 1′ hoch heben, während 1 Bush. Steinkohle verbraucht wird.)

Da nun 1 Bushel = 84 engl. Pfund, so erzeugte 1 Pf. Steinkohle eine Kraft von c^a 236,000 Pf., und liefert 1 Pf. Steinkohle 6—7 Pf. Dampf, so wäre hier die Kraft von 1 Pf. Dampf etwa 35,000 Pf. 1′ hoch, d. h. etwa die, die einer Pferdekraft gleich geschätzt wird.

§. 410. Ist der Effekt einer ähnlichen Maschine viel kleiner, so liegt die Ursache meist darin, daß dasselbe Quantum Kohle weniger Dampf erzeugt, oder daß mehr Kraft verloren wird.

Viele neuere Maschinen erzielen aber einen noch ungleich größern Effekt. Man hat schon eine Kraft von 70 — 80 Mill. Pf. mit 1 Bushel erreicht. Eine solche Erhöhung des Nutzeffekts ist einestheils möglich bei den allergrößten Maschinen, denn je größer sie sind, desto besser läßt sich in der Regel die Wärme utilisiren, und desto kleiner wird der Kraftverlust durch die verschiedenen Nebenlasten; hauptsächlich aber indem man das sogen. Expansionsprinzip anwendet.

§. 411. Wir wollen schließlich noch zeigen, wie durch dieses in neuerer Zeit erst eingeführte System aus demselben Quantum Dampf eine weit größere Kraft erhalten werden kann.

Gesezt, eine Maschine arbeite mit zweifachem Dampf, wovon also etwa 12 Cub.′ 1 Pf. wiegen. *) Läßt man diesen Dampf anhaltend in einen Cylinder strömen, dessen Inhalt (bei 4′ Höhe und 3 □′ Querschnitt) = 12 Cub.′, so wird man bei jedem Kolbenhube 1 Pf. Dampf verbrauchen. Dieser Dampf drückt mit 30 Pf. per □″ oder mit 25 Pf. wirksamer Kraft, wenn der Gegendruck auf der Rückseite noch 5 Pf. beträgt; der ganze Druck auf den Kolben ist also = 3 × 144 × 25 = 10800 Pf. und die theoretische Kraft von 1 Pf. Dampf hiemit = 4 × 10800 oder 43,200 Pf. 1′ hoch.

Gesezt nun, man lasse den Dampf nur so lange bei jedem Schube einströmen, bis der Kolben 1′ weit gewichen ist (und sperre sofort den Zufluß ab), so wird er dennoch seinen Lauf

*) Dampf von 2 Atmosph. Druck ist jedoch weniger als doppelt so schwer, als einfacher. Dampf von 20 Atmosph. ist z. B. nur 15mal schwerer. S. Dampfmaschinenlehre, S. 97.

vollenden, da der Druck des über dem Kolben eingeschlossenen Dampfes 6mal stärker ist, als der Gegendruck. Der Dampf wird sich zwar expandiren und daher freilich immer weniger Kraft haben, allein seine fernere Wirkung ist reiner Gewinn. Der Effekt wird daher ungefähr folgender seyn. Während der Kolben den 1′ zurücklegt, drückt der Dampf mit seiner vollen Kraft. — Der Effekt ist daher = 10,800 Pf.
Während der Kolben die übrigen 3′ zurücklegt, drückt der Dampf im Mittel etwa mit der halben Kraft, der Effekt ist daher 3 × 5400 . . . = 16,200 „
Der theoretische Gesammteffekt also = 27,000 Pf.

Im ersten Falle erhielten wir nun allerdings eine Kraft von 43,200 Pf. mit 1 Pf. Dampf; im zweiten aber mit Hülfe des Expansivprinzips eine Kraft von 27,000 Pf. mit ¼ Pf. Dampf (denn offenbar strömt nur so viel ein). Gesezt also auch, es werde verhältnißmäßig mehr Kraft (durch die Reibung ꝛc.) verloren, oder die Expandirung lasse sich nicht in dem obigen Grade anwenden, so ist doch zu erkennen, daß dieses Prinzip (das bloß einen viel geräumigern Cylinder erheischt) einen weit größern und oft einen mehr als doppelten Nutzeffekt aus demselben Quantum Dampf gewähren kann. *)

*) S. Dampfmaschinenlehre S. 99 fg.

Fünfter Abschnitt.

Erläuterungen aus der Lehre vom Lichte.

1) Von den Mitteln, Feuer hervorzubringen, oder den Feuerzeugen.

§. 412. Lange kannte man nur eine Art von Feuerzeug, den Feuerstahl. Schlägt man damit gegen einen scharfen und sehr harten Stein, so entstehen Funken; und bringt man diese mit Feuerschwamm (oder halbverkohltem Papier oder Linnen) in Berührung, so wird solcher glühend, so daß ein Schwefelhölzchen oder Schwefelfaden daran angezündet werden kann. Jene Funken aber entstehen, indem kleine Stahlpartikelchen abgerieben, durch die Reibung erhizt und in Berührung mit der Luft glühend werden.

In neuerer Zeit hat man jedoch noch verschiedene andere mehr oder weniger bequeme Feuerzeuge erfunden, und namentlich folgende:

1) Phosphorische.

§. 413. Der Phosphor ist eine Substanz, die bekanntlich bei der gewöhnlichen Temperatur schon in der Luft leuchtet, d. h. sehr langsam verbrennt, bei mäßiger Erhitzung und also durch Reiben leicht sich entzündet, und unter gewissen Umständen sogar in Brand geräth, so wie er mit der frischen Luft in Berührung

kommt. Man kann sich daher ein Feuerzeug verschaffen, wenn man die innere Fläche eines kleinen Fläschchens mit Phosphor überzieht. Denn sowie man ein gewöhnliches Schwefelhölzchen in jenes Fläschchen stößt, so daß etwas Phosphor an dem Schwefel haften bleibt, und das Hölzchen dann an einem Stücke Kork reibt ꝛc., so entzündet es sich sofort.

Noch bequemer aber ist Folgendes: Man bringt in ein Fläschchen etwas Phosphor, entzündet ihn, und bläst mittelst einer Röhre so lange Luft hinein, bis er zum Theil verbrannt scheint. Es bildet sich dann eine halbverbrannte Phosphorrinde, die so leicht entzündlich ist, daß ein hineingetauchtes Schwefelhölzchen sogleich zu brennen anfängt, sowie es herausgezogen wird. Beide Feuerzeuge müssen aber während des Nichtgebrauchs luftdicht verschlossen bleiben. *)

2) Chemische.

§. 414. Kommt chlorsaure Potasche mit Schwefelsäure in Berührung, so wird dieses Salz schnell und mit solcher Wärmeentbindung zersezt, daß leicht entzündliche Substanzen dadurch entzündet werden können. Man kann sich demnach chemische Feuerzeuge verschaffen, indem man 1) Zündhölzchen verfertigt, die an einem Ende nicht nur mit Schwefel, sondern überdies mit einer Mischung aus gepulvertem Chlorkalk, Schwefel, Gummi, Lycopodium und Zinnober umgeben sind, und 2) in ein Fläschchen Amianthpulver füllt, und dasselbe mit conzentrirtem Vitriolöl tränkt. Stößt man nämlich das Ende des Zündhölzchens in das Fläschchen, so haftet des Amiantteiges wegen nur sehr wenige Säure an demselben, diese aber reicht hin, die Zersetzung und Entflammung zu bewirken, sowie das Hölzchen herausgezogen

*) Zu den phosphorischen Feuerzeugen gehören wohl auch die Congreveschen Schnellzünder. Es sind dies Schwefelhölzchen, die etwas Phosphor enthalten und mit einer Materie überzogen sind, die den Phosphor schüzt. Sie entzünden sich, sowie sie auf einem rauhen Körper gerieben werden.

wird. Es versteht sich, daß das Fläschchen stets verstopft werden muß, damit die Säure nicht Feuchtigkeit aus der Luft aufnimmt und dadurch schwächer wird, und daß von Zeit zu Zeit der Amianth wieder frische Säure erhalten muß. — Bekanntlich sind diese Feuerzeuge schon sehr allgemein in Gebrauch gekommen, da sie sehr bequem und, fabrikmäßig verfertigt, sehr wohlfeil sind.

3) Pneumatische.

Stößt man einen kleinen Stempel a (Fig. 70) der bei b ein Stückchen Feuerschwamm enthält, mit Schnelligkeit in den Metallkolben c, so kann durch die plötzliche Zusammendrückung der darin eingeschlossenen Luft so viel Hitze frei werden, daß der Schwamm entzündet wird. Eine solche einfache Vorrichtung kann daher als Feuerzeug dienen. Da indessen der Stempel sehr dicht schließen muß, und er schnell dennoch hineingestoßen und herausgezogen werden muß, so versagen diese Feuerzeuge freilich oft, und haben deßhalb wenig Eingang gefunden.

4) Elektrische.

§. 415. Da ein kleiner elektrischer Funken das Wasserstoffgas zu entzünden vermag, so hat man schon vor geraumer Zeit sinnreiche Vorrichtungen erfunden, um augenblicklich durch die bloße Drehung eines Hahns eine kleine Wachskerze anzuzünden.

Diese Zündmaschinen sind im Wesentlichen nach folgendem Prinzip konstruirt (Fig. 71):

a ist ein mit Wasserstoffgas gefüllter Behälter,

b ein darüber stehendes Gefäß mit Wasser, und

c ein mit einem Elektrophor versehener Kasten.

Durch geeignete Mechanismen bewirkt nun das bloße Drehen eines Hahns e, 1) daß etwas Gas durch die Röhre d ausströmt, indem nun gleich viel Wasser aus b in a herabfließt, 2) daß aus dem Elektrophor ein kleiner Funken gezogen wird, 3) daß dieser zwischen zwei Drähten f g gerade vor der Mündung

d überspringen muß, so daß das Gas entzündet wird, 4) endlich, daß in demselben Augenblicke sich eine kleine Kerze dieser Mündung nähert und dadurch ebenfalls entzündet wird.

Die frühern Maschinen dieser Art hatten das Unbequeme, daß sie öfters wieder mit Wasserstoffgas gefüllt werden mußten; und die Bereitung dieses Gases, sowie die Einfüllung war nicht Jedermanns Sache. Jezt werden sie so konstruirt, daß der Behälter a stets selbst wieder mit Gas versehen wird. b wird nämlich nicht mit Wasser, sondern mit stark verdünnter Schwefelsäure gefüllt, die Röhre i bis an den Boden von a verlängert und in diesen Behälter ein Stück Zink o gehängt. Diese Einrichtung hat die Folge, daß, sowie in a die Gasmenge sich vermindert, und die saure Flüssigkeit also steigt, diese das Zink berührt, und durch diese Berührung (weil Zink mit verdünnter Schwefelsäure Wasserstoffgas entbindet) a sich wieder so lange mit Gas füllt, bis das Zink wieder frei hängt.

Solche Maschinen können also fortdauernd gebraucht werden, und man braucht nur, wenn die saure Flüssigkeit mit Zink endlich gesättigt ist, diese wieder (was leicht ist) zu erneuern. Es versteht sich übrigens, daß von Zeit zu Zeit auch der Elektrophor wieder von Neuem elektrisirt werden muß. (245)

5) Platinfeuerzeuge.

§. 416. Die merkwürdige Entdeckung Döbereiners, daß Platinschwamm durch dagegen blasendes Wasserstoffgas glühend wird und dieses Gas dann selbst entzündet, hat diesen Physiker auf die Erfindung einer neuen Zündmaschine geführt, die alle Vortheile der elektrischen gewährt, aber viel einfacher ist.

Das Wasserstoffgas wird wie bei der vorigen erzeugt; man läßt es aber aus d (Fig. 72) gegen eine Platinschwamm enthaltende Kapsel n ausströmen, und zwar so, daß es den Docht einer kleinen Oellampe x berührt. Wie der Hahn e geöffnet wird, wird in Kurzem der Schwamm glühend und die Lampe brennen, an der dann ein anders Licht angezündet werden kann. Allerdings konsumiren diese Maschinen mehr Gas als die elektrischen;

da aber der Elektrophor und die mechanischen Apparate wegfallen, so ist ihre Construktion sehr einfach. Von Zeit zu Zeit muß freilich auch der Platinschwamm erneuert werden. *)

2) Physik der Beleuchtungskunst.

§. 417. Um uns künstliches Licht zu verschaffen wenden wir stets die Verbrennung an, weil sich bei diesem Prozesse so wie Wärme, so auch Licht entbindet. Gewöhnlich beabsichtigt man bei solcher Verbrennung ausschließlich die Erzeugung von Licht oder die von Wärme, und je nachdem das eine oder andere unser Zweck ist, wählen wir verschiedene brennbare Substanzen. Damit nämlich ein brennender Körper zur Beleuchtung geeignet sey, muß derselbe nicht nur wohlfeil genug seyn, sondern

1) bei der Verbrennung kein besonders schädliches Produkt erzeugen, wie z. B. Schwefel oder Phosphor;
2) einmal angezündet, die Verbrennung unterhalten, so lange Brennstoff vorhanden ist;
3) eine Flamme bilden, d. h. sich in brennbare Dünste oder Gase verwandeln und als solche verbrennen. Holz eignet sich daher wenig, und Kohle noch weniger zur Beleuchtung.

Wir wenden insbesondere dreierlei Materien als Leuchtstoffe an:

*) Den Platinschwamm erhält man, wenn man in Königswasser aufgelöstes Platin durch Salmiak präzipitirt und das Präzipitat ausglüht. Dieses Platin ist dann von überaus poröser Beschaffenheit, und eben dieser verdankt es hauptsächlich die Eigenschaft, sich zu entzünden. Die Metalle und namentlich das Platin haben nämlich das Vermögen, in Berührung mit Gasarten durch Zusammenziehung diese ausnehmend zu kondensiren; durch die große Porosität des Platinschwamms kommt aber das Gas mit ungleich mehreren Theilen in Berührung; und so kann die Kondensirung so viele Wärme erzeugen, daß das Metall glühend wird. Aus derselben Ursache kann die poröse Kohle ein beträchtliches Quantum Luft einsaugen; und bei sehr fein gepulverter Kohle kann dann oft so viel Hitze frei werden, daß sie sich entzündet.

1) feste Fettigkeiten, wie Talg, Wachs, Wallrath;
2) fette Oele, Baumöl, Rüböl u. a.;
3) brennbares Gas, das namentlich aus Steinkohlen oder fetten Oelen erzeugt wird.

Reden wir zuerst

a) Von der Beleuchtung mit festen Stoffen.

§. 418. Der gemeinste dieser Stoffe ist der **Talg** oder **Unschlitt**, ein Fett, das von mehreren grasfressenden Thieren gewonnen wird, und das bei der gewöhnlichen Temperatur fest ist, und erst bei etwa 35° R schmilzt. Um ihn zu brennen, gießt man daraus cylindrische Stangen oder Kerzen, durch deren Mitte ein baumwollener Docht geht.

Beim Brennen einer solchen Kerze hat Folgendes Statt:

Wie der Docht a brennt (Fig. 73), schmilzt die Wärme den obersten Theil der Kerze, und zwar den Rand am wenigsten, daher der Talg nicht ablauft. Der flüssige Talg steigt zwischen den Fasern der Baumwolle, wie in Haarröhrchen, in die Höhe, und gelangt so in die Flamme. Durch die Hitze werden hier die Talgtheile sofort verflüchtigt, und steigen als warmer brennbarer Dunst schichtenweise in die Höhe. Jede Schicht verbrennt, wo sie in Berührung mit der Luft kommt; nur der Rand kann also brennen; da jede Schicht aber, so wie sie steigt, immer kleiner wird, so verbrennt sie doch ganz, wenn die Hitze und der Luftzug stark genug sind; und so entsteht eine Flamme, die die Gestalt eines hohlen Kegels b c haben muß. Da die Luft stark erhitzt wird, so strömt beständig Luft nach oben ab und frische zu.

Da die Flamme ein hohler Lichtkegel ist, so ist sie durchsichtig und der innere Theil d dunkel.

Je stärker der Docht ist, und je langsamer und vollständiger doch der brennbare Dunst verbrennt, desto größer ist die Flamme. Die Stärke oder Intensität des Lichts hängt aber hauptsächlich von dem Grade der Hitze ab. Am hellsten und weißesten wäre

die Flamme, wenn die aufsteigenden Kohlentheile weißglühend würden. Gewöhnlich bleibt aber die Flamme großentheils gelb oder röthlich, und die Basis, weil hier die Hitze am geringsten ist, blau. *)

§. 419. Verbrennt der Talg vollständig, so sind die Produkte des Verbrennens bloß kohlensaure Luft und Wasserdunst, da der Kohlenstoff mit dem Sauerstoff der Luft die erstere, der Wasserstoff des Talgs damit Wasser bildet. Ausserdem entwickelt sich viel Wärme.

Umgibt man die Flamme mit einem gläsernen Kamin, so daß der Luftzug rascher wird, so wird das Licht heller; ein solches ist aber nicht wohl anzubringen. Hingegen kann durch hohle, oder platte Dochte die Helligkeit und das vollkommene Verbrennen befördert werden. Alle nicht verbrennenden Theile bilden Rauch und Dampf.

Je weiter der Talg der Kerze abschmilzt, desto höher ragt der Docht hervor. Dies Längerwerden des Dochts (den man daher oft abschneiden muß) vermindert ausnehmend die Helligkeit, während zugleich eher mehr als weniger Talg konsumirt wird.

Sezt man die Helle eines frischgepuzten Lichts = 1, so ist sie nach Rumfords Versuchen:

Nach 10 Minuten kaum $1/_5$, nach 18 Minuten $1/_4$, nach 30 Minuten $1/_6$ und nach Peclets Versuchen:

Nach 13 Minuten kaum $1/_2$, nach 20 Minuten $1/_3$ und nach 40 Minuten $1/_7$. **)

Sezt sich am Docht ein Pilz an, so wird die Helle noch geringer.

---

*) Der brennbare Dunst erheischt sogar, um gleich stark zu glühen, eine größere Hitze als feste Körper. Hält man daher feine Asbestfasern z. B. an die Flamme, so zeigen sich diese weit blendender als jene.

**) Natürlich kommt Vieles auf die Beschaffenheit des Talgs an.

Diese Wirkung scheint hauptsächlich daher zu rühren, daß der längere Docht, ohne zur Verflüchtigung des Talgs beizutragen, bloß die Flamme abkühlt.

Anders verhält es sich bei Wachskerzen. Da das Wachs sich nicht so schnell verflüchtigt, so ist vielmehr ein langes Dochtende nöthig, so wie dieses sich auch weniger verkohlt. Wachskerzen geben daher ungeputzt eher mehr Licht, und eben daher erfordern sie einen viel dünnern Docht als Talglichter.

Luftbewegungen, die das Licht flackern machen, vermindern die Helligkeit, schon weil sie die Flamme erkälten.

b) Von der Beleuchtung mit Oelen.

§. 420. Die fetten Oele brennen ganz auf dieselbe Weise wie geschmolzener Talg mit einer Flamme, und da sie an sich flüssig sind, und es nicht erst durch die Nähe der Flamme werden müssen, so erfordert die Verbrennung der Oele im Grunde eine noch einfachere Vorrichtung. Verschiedene Umstände führten jedoch zu einer sehr mannichfachen und mitunter sehr künstlichen Construktion dieser Apparate oder der Oellampen, um sie zur Beleuchtung möglichst vollkommen zu machen. Es handelt sich nämlich darum, dem brennenden Docht auf die zweckmäßigste Weise Luft und Oel zuzuführen.

Taucht ein Docht in ein Gefäß mit Oel, so steigt das Oel (besonders wenn es recht rein ist) allmählig wohl mehrere Zoll hoch zwischen den Dochtfasern, doch immer langsamer und in geringerer Menge, weil die Kapillarkraft abnimmt und nicht alle Zwischenräume gleich enge sind. (38) Umgibt man also den Docht mit einer Röhre, so daß nur das obere Ende brennen kann, so erhält man eine um so kleinere Flamme, je höher das Dochtende vom Oelniveau absteht; und daraus ergibt sich, daß der brennende Docht dem Oelniveau möglichst nahe stehen muß, und daß also, wenn dieses durch die Consumtion des Oels allmählig abnimmt, entweder der Docht niedriger oder das Oelniveau höher gebracht werden muß.

§. 421. Ferner kann zwar ein stets mit Oel getränkter Docht nicht selbst verbrennen, und ein zu langer verbrennt allmählig, bloß weil er trocken wird. Daher muß denn auch der Lampendocht, wenn das Oel sinkt und die Flamme tiefer brennt, geputzt werden, weil auch hier die Schnuppe die Helligkeit mindert. Das Oel verflüchtigt sich jedoch nie so vollkommen, daß nicht einige Kohlentheile an den Docht abgesezt werden und die Poren allmählig verstopfen. Bliebe also auch das Oelniveau konstant, so könnte derselbe Docht nicht immer dienen; und daraus ergibt sich, daß 1) wenn man für ein konstantes Oelniveau sorgt, man möglichst reines Oel anwenden muß; 2) daß dennoch aber von Zeit zu Zeit der Docht erhöht und gereinigt werden muß; und 3) daß auch unverbrennliche Dochte (z. B. gläserne oder Asbestdochte) allmählig unbrauchbar werden.

Beim Anzünden eines Dochts ergibt sich endlich eine Schwierigkeit, weil die Hitze des anzündenden Körpers der Kapillarkraft entgegenwirkt oder das in den Fasern heraufgestiegene Oel herabdrückt. Leicht ersieht man diese Wirkung, wenn man ein gläsernes Haarröhrchen p (Fig. 74), das durch eine Korkscheibe n schwimmend auf Oel erhalten wird, anzünden will. Obschon das Oel völlig bis an die obere Mündung sich erhebt, so ist doch das Anzünden unmöglich, weil das Oel, sowie man eine Flamme nähert, stets zurückweicht. Man macht seit einiger Zeit zwar kleine Nachtlampen, wo ein solches Glasröhrchen die Stelle des Dochtes vertritt, allein das Röhrchen p wird (wie Fig. 75) in einer schwimmenden Kapsel nm angebracht, so daß das Oel bei oo höher steht, und dasselbe hiemit nicht durch Kapillarkraft in p steigt. — Um einen Docht also leicht anzünden zu können, muß er oft mit einer besonders brennbaren Substanz (wie Terpentin) bestrichen werden.

§. 422. Die Flamme einer Oellampe bildet, wie die einer Talgkerze, einen hohlen Lichtkegel, weil die aufsteigenden Dunstschichten nur allmählig an ihrem Umfange verbrennen. Wendet man daher, wie Argand zuerst that, einen cylindrischen Docht aa (Fig. 76) an, der in einem ringförmigen Oelbehälter eingeschlossen ist, so bildet auch der aufsteigende Dunst eine Art hohlen

Cylinder b b; und kann die Luft von aussen und innen ihn bestreichen, so wird die Verbrennung vollkommener und lebhafter, die Hitze daher größer und das Licht weißer und blendender seyn. Diese Wirkung wird noch vollständiger erreicht, wenn man über die Flamme ein gläsernes Glaskamin wie c d e sezt; denn:

1) Hindert dasselbe den Einfluß schädlicher Luftbewegungen, hiemit das Flackern ꝛc.

2) Hat ein lebhaftes und regelmäßiges Einströmen von Luft bei c über die Aussenseite der Flamme Statt.

3) Erhöht das Kamin, wenn es einmal heiß ist, die Hitze der Flamme.

4) Wirft die Krümmung bei d noch mehr die Hitze auf die Flamme zurück.

Lampen, nach diesem Prinzip konstruirt, heißen überhaupt Argandsche, und die Helligkeit einer gewöhnlichen Lampe dieser Art ist ungefähr die 7 oder 8fache eines gewöhnlichen Talg oder Wachslichtes.

§. 423. Bei allen Lampen, zumal aber bei den Argandschen, kommen mehrere Bedingungen in Betracht, und daraus ergibt sich eine sehr große Mannichfaltigkeit der Construktion. Wir können hier nur das Wesentlichste anführen.

Zutritt der Luft.

Jeder brennende Körper muß mit der Luft in Berührung kommen; je freier und rascher der Luftwechsel ist, desto lebhafter ist die Verbrennung. Ein bandförmiger Docht ist daher schon vorzüglicher, als ein runder, denn die Berührungsfläche ist größer. Ein in einem Brennschnabel befindlicher Docht brennt heller, als ein unmittelbar in dem Oelgefäße befindlicher, denn die Luft hat von unten freien Zugang.

Bei den Argandschen Lampen wird das Licht hauptsächlich weißer und heller, weil der Luftzug durch das Kamin verstärkt

wird und ein doppelter Statt findet. Es kommt indessen viel auf das Verhältniß des Zugs überhaupt und das Ebenmaß des innern und äussern Luftzuges an. Der Zug wird durch ein hohes und enges Kamin verstärkt; ein zu enges springt aber leicht. Je mehr Oel in derselben Zeit verbrennen soll (je mehr Docht also hervorragt); desto mehr Luft wird nöthig; ist der Zug zu schwach, so wird die Flamme größer, aber die Helle schwächer und ein Theil des Oeldampfs entweicht unverbrannt. Auch ein zu starker wird aber schädlich, denn die Flamme wird zwar sehr hell, jedoch zu klein. Da nun das Kamin sich nicht verändern läßt, so muß eine bestimmte Größe des Dochts die geeignetste seyn. Hindert man den äusseren oder innern Luftzug, so wird die Flamme höher, aber dunkler. Bei zu engen Dochtcylindern wird die innere Luft ieicht zu schwach; bei zu weiten geht viel Luft, ohne die Flamme zu berühren, durch, und schadet, indem sie die Flamme abkühlt.

Um die innen durchziehende Luft zu zwingen, den Docht zu bestreichen, brachte man über a a (Fig. 76) in einiger Entfernung vom Cylinder einen Blechdeckel an. (Solche Lampen nannte man Liverpoollampen.) Da die Flamme durch die Luft etwas auswärts getrieben wird, so muß auch der Schornstein für diese Lampen eine unten kugelige Form haben.

Bedeutend heller wird endlich (wie zuerst Rumford zeigte) die Flamme, wenn mehrere Dochte dicht nebeneinander brennen, und zwar so, daß zwischen denselben Luft durchzieht. Am stärksten ist die Wirkung, wenn man zwei oder mehrere runde und concentrische Dochte anwendet.

Da indessen die Anwendung solcher Dochte einige Schwierigkeit hat, so macht man von diesem Prinzip nur dann Gebrauch, wenn man ein möglichst intensives Licht verlangt, wie für Leuchtthürme oder Signallichter. Jene Wirkung rührt übrigens daher, daß durch die Nähe mehrerer Flammen die Hitze viel größer wird. *)

---

*) Locatelli wandte sie auch zur Beleuchtung der Schauspielhäuser an.

Verschiebung des Dochts.

§. 424. Der cylindrischgewebte Argandsche Docht wird gewöhnlich am untern Ende zwischen zwei Ringe von Blech oder Kupfer befestigt; es muß aber eine Vorrichtung vorhanden seyn, um jenen Ring und dadurch den Docht in der Oelröhre höher oder tiefer stellen zu können. Meist geschieht dies vermittelst einer gezahnten Stange; und bei den neuern Astrallampen, indem man den Kaminträger dreht. Der Ring greift nämlich in eine spiralförmig aufsteigende Furche, so daß durch Drehung derselben jener auf- oder abwärts bewegt wird.

Zuleitung des Oels und Oelbehälter.

§. 425. Soll der Docht immer gleich hell brennen, so ist sehr wesentlich, daß die Flamme dem Oelniveau stets gleich nahe stehe. Bei den gemeinen Nachtlampen geschieht dies nun von selbst, indem der von einem kleinen Schwimmer gehaltene Docht fortwährend sinkt, sowie das Oel verzehrt wird. Bei allen andern Lampen aber, wo der Docht fest steht, muß durch besondere Vorrichtungen dafür gesorgt werden, daß sich das Oelniveau bei derselben Höhe erhalte.

Man kann je nach der Lage des Oelbehälters dreierlei Lampen unterscheiden. Er steht nämlich 1) entweder in ungefähr gleicher Höhe, wie der Docht, oder 2) höher, oder 3) tiefer.

1) Steht das Oelgefäß n (Fig. 77) seitwärts, so wird das Oel in p stets ungefähr eben so hoch stehen, wie in n (und nur wenn p enge ist, darin etwas höher). Man braucht also nur n bis zur gehörigen Höhe anzufüllen, und dieses Gefäß ferner so weit zu machen, daß, so lange die Lampe brennen soll, der Oelstand in n nicht zu sehr sich erniedrigt. Hat n z. B. eine Weite von 12 □'' und verzehrt die Lampe in einer Stunde nur 1 Cub.'' Oel, so würde das Oel in jeder Stunde nur um 1''' sinken. Allerdings muß dies aber schon eine allmählige Verminderung der Flamme herbeiführen, und dies hat auch bei allen

Lampen mit seitwärts stehenden Gefäßen Statt. Ueberdies hindert ein solcher Behälter die Beleuchtung nach einer Seite. Um diesen Uebelstand für Stocklampen oder hängende zu entfernen, gibt man dem Gefäße die Gestalt eines hohlen Kranzes a b (wie Fig. 78).

Dieser hat dann zwei Oeffnungen, die eine a zur Einfüllung des Oels, eine andere b (die immer offen bleibt), um der äussern Luft den Eintritt zu gestatten. Einen solchen Kranz haben gewöhnlich die sogen. Astral- und Sinumberlampen.

§. 426. 2) Da seitwärts stehende Oelgefäße immer sehr weit seyn müssen, wenn die Flamme nicht allmählig sich bedeutend vermindern soll, so wendet man häufig auch höhere Gefäße an, und solche verdienen unstreitig den Vorzug. Wäre jedoch das Gefäß a (Fig. 79) voll Oel, so würde dieses bei b überfließen; es muß daher ein Mittel zur Regulirung des Zuflusses vorhanden seyn. Gewöhnlich geschieht dies auf folgende Weise (Fig. 79): Man füllt ein Gefäß c mit Oel und stürzt es, indem die Oeffnung durch die Klappe i geschlossen ist, in dem Behälter a um. c hat zugleich gerade die Lage, daß die Oeffnung mit b gleich hoch zu stehen kommt. Wie es umgestürzt ist, wird die Klappe durch den Draht n geöffnet; es fließt also Oel aus c aus, indem die Luft zwischen a und c Zutritt hat und in c eindringt. So wie jedoch das Oel in a so hoch steht wie b, hört aller Ausfluß aus c auf, da keine Luft mehr nach c gelangen kann; es kann hiemit auch kein Oel bei b überfließen. So wie ferner das Oel verbraucht wird und der Oelstand in a sinkt, muß beständig wieder etwas Oel aus c nachfließen. Nach diesem Prinzip, das übrigens auf mancherlei Weise angewendet werden kann, wird in fast allen Lampen, die einen hohen Oelbehälter haben sollen, das Oelniveau konstant erhalten. Es versteht sich, daß auch hier auf die Wirkungen der Kapillarkraft Rücksicht genommen werden muß. Ueberdies ist eine beträchtliche Erwärmung des Oelbehälters zu verhüten, weil die sich ausdehnende Luft sonst zu viel Oel aus c herausdrückt.

§. 427. 3) Schwieriger ist es, dem Docht das Oel aus einem niedrigerstehenden Behälter und zumal regelmäßig zuzuführen. Man hat zwar auch solche Lampen und mancherlei Vorrichtungen zu diesem Zwecke erfunden. Da jedoch die Einrichtung stets künstlicher wird, und solche Lampen theils theurer, theils schwerer zu behandeln und in gutem Zustande zu erhalten sind, so sind sie weniger in Aufnahme gekommen.

Bei einigen dieser Lampen wird das Oel durch eine kleine Druckpumpe von Zeit zu Zeit heraufgepumpt; es ist aber klar, daß hier kein regelmäßiger Zufluß Statt hat.

Andere sind nach dem Prinzip des Heronsbrunnens (Fig. 68) eingerichtet, solche aber schwer zu füllen und daher wenig brauchbar; sie geben inzwischen ein Beispiel, wie oft Vorrichtungen, die lange fast nur als physikalisches Spielwerk betrachtet wurden, eine nützliche Anwendung finden können.

Bei noch andern (die man vorzugsweise Hydrostatische nennt) wird das Oel durch eine spezifisch schwerere Flüssigkeit in die Höhe getrieben. Besonders brauchbar scheint die von Thilorier angegebene Lampe, welcher als Flüssigkeit eine Auflösung von Zinkvitriol in gleich viel Wasser anwendet, da diese weder auf das Blech, noch auf das Oel schädlich einwirkt.

Das Wesentliche der Einrichtung ist aus Folgendem ersichtlich (Fig. 98):

Durch a wird erst das Oel eingefüllt, und darauf die Salzauflösung. Da diese schwerer ist, so wird sie den Raum b b einnehmen, und das Oel, das den Raum c c einnimmt, bis in den Dochtcylinder d erheben. Kennt man das Verhältniß der spezif. Gewichte beider Flüssigkeiten, so läßt sich leicht berechnen, wie das Dochtende über dem Niveau i stehen kann; und da dieses nur wenig abnimmt, so bleibt auch die Oelhöhe lange dieselbe. Das aus d etwa überfließende Oel fließt durch k in den Sammler n ab. Muß die Lampe von Neuem mit Oel versehen werden, so geschieht es, indem man mit einem eigens dazu eingerichteten Trichter es bei dem Brennschnabel d einfüllt, was allerdings aber den Gebrauch erschwert. Diese verschiedenen Gefäße lassen sich übrigens in einem säulenförmigen Gehäuse

einschließen, so daß aussen nur der Brenner mit dem aufgesezten Glaskamine sichtbar ist.

Eine vierte Art solcher Lampen (wie die von Carcel u. a.) endlich ist mit einem ordentlichen Uhrwerke versehen, durch das eine Oelpumpe in Bewegung gesezt wird. Diese lezten Lampen indessen, so sehr sie gerühmt werden, sind natürlich sehr kostbar.

Verbreitung des Lichts.

§. 428. Die Lichtstrahlen einer Flamme verbreiten sich nach allen Seiten auseinander laufend, und die Beleuchtung nimmt daher im quadratischen Verhältniß der Entfernung ab. (206)

Soll das Licht sich vorzugsweise nach gewissen Richtungen verbreiten, so kann dies vermittelst reflektirender Flächen bewirkt werden. Bringt man hinter eine Flamme a eine weiße Fläche b in geeigneter Stellung an (Fig. 102), so fallen auf die Fläche c nicht nur die direkten Lichtstrahlen von a, sondern auch viele von b reflektirte, und c wird stärker beleuchtet. Eine ähnliche Wirkung haben Schirme (Fig. 103), und zugleich hindern sie, daß direkte Lichtstrahlen in das Auge d gelangen. Durchscheinende papierne Schirme mäßigen bloß das durchgehende Licht.

Die Argandschen Lampen umgibt man, da die Intensität des Lichts dem Auge zu empfindlich ist, gewöhnlich mit durchscheinenden Gehäusen von dünnem Papier, Gase oder mattgeschliffenem Glas. Durch solche Gehäuse scheint wenig oder kein Licht verloren zu gehen, sondern dasselbe durch vielfache Reflektirung von der innern Fläche nur so zerstreut zu werden, daß das ganze Gehäuse nun mit einem verhältnißmäßig matterer Glanze leuchtet. Ist dieser kugelige Schirm so angebracht, daß der untere Theil tiefer als der Oelkranz steht, so ist der Schatten des Kranzes so kurz, daß er als gar nicht vorhanden zu betrachten ist. Solche Lampen nannte man daher Sinumberlampen, d. h. Schattenlose. *)

*) Bringt man über dem Kamine einer Lampe eine Drahtspitze an, und sezt man darauf ein Windrädchen aus dünnem Blech

Will man das Licht nach irgend einer Richtung möglichst weit fortpflanzen, so kann dies geschehen, indem man die Flamme in den Focus eines Hohlspiegels oder in den einer Converlinse stellt, da in beiden Fällen die auffallenden Strahlen eine parallele Richtung erlangen und daher ungeschwächt sich weiter verbreiten. Diese Mittel werden bei den Zauberlaternen, besonders aber auf Leuchthürmen angewendet.

Anhang.

Von den Sicherheitslampen.

§. 429. Hält man ein Stück ziemlich feines Drahtgewebe quer in eine Lichtflamme, so wird diese dadurch wie abgeschnitten. Nur unter demselben brennt die Flamme, durch das Gewebe dringt aber bloß Rauch. Das Gewebe hindert also den Durchgang der Flamme, und dies theils weil das Metall als guter Leiter dem Feuer Wärme entzieht, theils weil es überdies die Flamme abzustoßen scheint.

Der berühmte Physiker Davy benutzte diese merkwürdige Wirkung des Drahtgewebes zur Herstellung von Sicherheitslampen für Bergleute. In manchen Bergwerken, zumal in Steinkohlengruben, häuft sich nämlich sehr oft eine Menge brennbarer Luft an, die, mit atmosphärischer Luft gemengt, heftig explodirt, so wie eine Lichtflamme damit in Berührung kommt. Beinahe alle Jahre ergeben sich dadurch Unglücksfälle. Die Davyschen Lampen verhüten dies, indem sie mit einem Cylinder aus Drahtgewebe umgeben sind. Dieser läßt nämlich Luft und Licht genug durch, hat aber die Wirkung, daß, wenn je in einer Grube brennbare Luft vorhanden ist, diese nur im Innern des Gehäuses

---

und mit schiefen Flügeln, so bringt dieses den Luftzug in Umdrehung. Und hängt man daran einen mit Figuren bemalten papiernen Kugelschirm, so wird auch dieser sich beständig drehen.

brennen kann, und ohne daß dadurch auch die äussere entzündet wird. *)

Von den Glühlämpchen.

§. 430. Steckt man einen feinen einige Mal spiralförmig umgewundenen Platindraht in den Docht einer Weingeistlampe, und zündet man diese an, so wird, auch nachdem die Flamme ausgeblasen worden, der Draht noch Stundenlang fortglühen; indem nämlich fortwährend etwas Weingeist verdunstet, und dieser Dunst das Platin glühen macht. So erhält man eine ganz schwache Nachtlampe, an der man Schwamm und also eine Kerze zu jeder Zeit anzünden kann.

c) Beleuchtung mit Gas.

§. 431. Im Grunde ist jede Flamme eine Gasflamme; denn ein brennbarer Körper verbrennt nur dann mit einer Flamme, wenn die Theile sich vor dem Verbrennen verflüchtigen. Erst in neuerer Zeit hat man aber gelernt, Brennstoffe mit Vortheil in brennbares Gas zu verwandeln, um dasselbe später erst zu verbrennen und zur Beleuchtung anzuwenden, und nur das auf diese Weise erzeugte Licht begreift man unter dem Namen Gaslicht.

Anfangs bereitete man dieses Leuchtgas fast einzig aus Steinkohlen; jezt wird es auch oft aus Oel oder Harz ꝛc. gewonnen.

Um dasselbe aus Steinkohlen zu erzeugen, werden diese in gußeisernen Cylindern (Retorten) einige Stunden lang der Glühhitze ausgesezt. Es entwickelt sich dann ein stark gekohltes Wasserstoffgas, das durch eine angebrachte Röhre entweichen kann, und in dem Cylinder bleibt eine poröse Kohle, die Coke heißt,

---

*) Leider hört man noch jezt von ähnlichen Unglücksfällen. Dies rührt aber daher, daß viele Arbeiter diese Lampen nicht gebrauchen mögen, oder sehr nachlässig damit umgehen.

zurück. Das Gas läßt sich in Röhren auf eine beliebige Entfernung fortleiten, und dann, wenn man es durch eine Oeffnung ausströmen läßt, anzünden.

Da sich indessen nicht reines Kohlenwasserstoffgas entbindet, so muß es vorerst noch gereinigt werden. Es geschieht dies theils, indem man es in Behälter treten läßt, wo es sich abkühlt und ölige Theile (Theer) absezt, theils indem man es mit Kalk in Berührung bringt, der das schwefeligtsaure Gas einsaugt. Um ferner aber das Gas zu beliebiger Zeit verwenden und gleichförmig nach Bedarf abfließen lassen zu können, wird es zuerst in einem sogen. Gasometer (300) gesammelt.

100 Pf. gute Steinkohlen geben etwa 300 Cub.′ Leuchtgas, und 4 Cub.′ Gas etwa werden in einer Lampe per Stunde verzehrt, die so hell als eine Argandsche brennt. Wo die Steinkohlen wohlfeil sind, die Cokes einen guten Absatz haben, und die Erzeugung des Gases im Großen vorgenommen wird, kann daher diese Beleuchtung leicht vor jeder andern vortheilhaft seyn, besonders wenn die Lampen nicht zu weit entfernt und also nicht sehr lange Leitungen erforderlich sind. Zudem empfiehlt sich das Gaslicht durch Helligkeit und Reinlichkeit. Ein Uebelstand ist allerdings, daß die Lampen eine bleibende Stelle haben müssen.

§. 432. Auf ähnliche Weise wird das Leuchtgas aus Oel bereitet. Das Oel wird durch eine geeignete Vorrichtung in kleinen Portionen in eine glühende Retorte gebracht, die, damit die Oberfläche möglichst vergrößert ist, mit Ziegelstücken oder Cokes gefüllt wird. Das Oel wird dann, wie in dem brennenden Docht, zersezt und vergast, das Gas aber, wie vorhin das Steinkohlengas, in einen Gasometer geführt. Dieses Oelgas ist etwa 3mal leuchtender als jenes, so daß 1 — 1¼ Cub.′ für eine Lampe per Stunde hinreichen.

Immerhin scheint es räthselhaft, daß diese Verwendungsart einen Vortheil vor der unmittelbaren Verbrennung haben soll; denn mehr Gas wird nicht erhalten, als bei der direkten Verbrennung, und die Apparate zur Bereitung, Sammlung und Fortleitung des Gases müssen die Kosten vermehren. Für's Erste

aber sind diese Kosten weit geringer als bei der Steinkohlengasbereitung, weil das Oelgas keiner Reinigung bedarf und weniger Volum hat; und für's Zweite lassen sich auch die geringsten und also wohlfeilsten Oele auf diese Weise verwenden.

3) Noch einige Wirkungen der unvollkommenen Durchsichtigkeit der Körper.

§. 433. Kein Körper ist vollkommen durchsichtig; auch der durchsichtigste läßt nicht alle auffallenden Lichtstrahlen hindurch; einige werden zurückgeworfen, und dadurch nur ist er selbst sichtbar; andere werden absorbirt oder verlieren sich im Innern. Dicke Glasscheiben schwächen das Licht daher mehr als dünne, und durch viele aufeinander gelegte Scheiben kann endlich auch das hellste Licht unsichtbar werden.

Noch schneller geschieht dies durch Scheiben, die an sich nur durchscheinend sind, wie durch Hornblätter. Solche können demnach als Photometer (208) dienen, oder um einigermaßen die Stärke eines Lichtes abzuschätzen; denn je mehr Blätter (gleicher Art) erfordert werden, um ein Licht unsichtbar zu machen, desto heller muß es seyn.

Die Durchsichtigkeit hängt oft von einem besondern Zusammenhange der kleinsten Theile eines Körpers ab. Daher eine Veränderung des Cohäsionszustandes oft durchsichtig oder undurchsichtig macht. Wachs, Butter, Talg ꝛc. werden durchsichtig, wenn sie schmelzen. Oel wird undurchsichtig, wenn es gerinnt; Gypsspath, wenn er gebrannt wird. Ebenso kann Glas durch anhaltendes Glühen undurchsichtig werden.

Zwei durchsichtige Materien werden durch Mengung undurchsichtig, wenn sie eine sehr verschiedene Dichtigkeit haben. So ist der Schaum, ein Gemenge von Wasser und Luft, undurchsichtig. Umgekehrt zeigen sich rauhe Krystalle ꝛc., in Wasser getaucht, durchsichtiger, weil die rauhe Oberfläche dann mit einem

dichtern Mittel in Berührung ist. Gewisse Salze werden in Oel ganz durchsichtig.

§. 434. Durchscheinende Substanzen, wie Papier, mattes Glas, Horn, Alabaster ꝛc. werden oft angewendet, um die Helligkeit eines Lichtes zu mäßigen. Ist ein solcher Körper von ungleicher Dicke, so lassen die einzelnen Stellen mehr oder weniger Licht durch. Man hat diese Wirkung auf eine sinnreiche Weise bei den sogen. lithophanen Schirmen benuzt. Diese bestehen aus Tafeln von unglasirtem Porzellan oder Biscuit, in die man vor dem Brennen Figuren eindrückt, so daß alle Stellen, je nachdem sie sich heller oder dunkler zeigen sollen, in gehörigem Verhältnisse dünner oder dicker sind.

§. 435. Gefärbte Flüssigkeiten oder Gläser haben die Eigenschaft, daß sie Strahlen von einer besondern Farbe vorzugsweise zurückwerfen oder durchlassen und die übrigen mehr oder weniger absorbiren. Sie schwächen daher das Licht und geben zugleich eine farbige Beleuchtung. Dringt das Sonnenlicht durch rothe oder gelbe Scheiben in ein Zimmer, so erhalten alle Gegenstände darin eine Tinte von derselben Farbe; weil jedoch zugleich viel farbloses Licht noch durchgeht, so geht ihre natürliche Farbe gewöhnlich nicht ganz verloren. Auf diese Weise kann man indessen alle Phänomene des farbigen Lichtes hervorbringen, und so auch die farbigen Schatten. (231)

Läßt man einen Körper zwei Schatten werfen, indem man ihn durch zwei Lichter beleuchtet, so wird sofort der eine Schatten blau und der andere gelb, wenn man nur vor das eine Licht ein blaues oder ein gelbes Glas hält.

Häufig wendet man blauliche oder grüne Brillen an, um das in das Auge kommende Licht zu mäßigen; die Natur erscheint dann aber mit derselben Tinte.

Manche Substanzen endlich lassen Strahlen von anderer Farbe durch, als sie reflektiren. So läßt ein mit Ruß geschwärztes Glas beinahe nur rothe Strahlen durch, und sieht man durch ein solches nach der Sonne, so erscheint sie dunkelroth. Ueberzieht man eine Glasscheibe mit einem Goldblättchen, das gelb ist,

so erscheint es, gegen die Sonne gehalten, auf der Rückseite grün, weil das so dünne Gold nur grüne Strahlen durchläßt.

Das milchweiße Beinglas reflektirt vorzugsweise blauliches Licht und läßt gelbes (oder die Ergänzungsfarbe des blauen) durch, und dieselbe Eigenschaft scheint der Luft zuzukommen. Daß die blaue Farbe des Himmels daher rührt, daß die Luft vorzüglich blaues Licht reflektirt, ist nicht zu bezweifeln. Es kommt damit überein, daß er desto schöner blau ist, je weniger Dünste in der Atmosphäre sind, daß bei Wolken und Nebel das Blau verschwindet, und daß sich auf hohen Bergen der Himmel schwarzblau zeigt. Sehr wahrscheinlich ist aber ferner, daß die Atmosphäre vorzugsweise dann (die Ergänzungsfarbe des Blau) orangegelbe Strahlen durchläßt, und daß von diesen durchgehenden Strahlen bei Auf- und Untergang der Sonne besonders das schöne Phänomen der Morgen- und Abendröthe herrührt, die wir dann auch vornehmlich sehen, wenn der Himmel nachher recht hell und blau wird.

4) Gebrauch der Spiegel.

§. 436. Nur solche Flächen können Bilder von den sie beleuchtenden Gegenständen erzeugen oder sie abspiegeln, welche einen Theil der darauf fallenden Lichtstrahlen und zwar regelmäßig reflektiren. Eine spiegelnde Fläche muß daher völlig glatt oder polirt seyn, und die Substanz eines solchen Körpers dicht und nicht vollkommen schwarz oder durchsichtig seyn. Poröse Materien nehmen nicht die gehörige Politur an.

Einen natürlichen Spiegel bildet ein ruhig stehendes Wasser von ziemlicher Tiefe, weil die Oberfläche dann, obgleich einen mäßigen Theil des Lichts zurückwerfend, ausnehmend glatt ist, und weil, ist das Wasser tief genug, nicht zugleich Licht vom Boden reflektirt wird, welches das Bild, das die Oberfläche gibt, undeutlich macht. Das Bild ist übrigens bei gleicher Beleuchtung um so lebhafter, je schiefer das Licht auffällt, weil dann ein desto größerer Theil desselben reflektirt wird.

Als künstliche Spiegel gebraucht man polirte Metalle, schwarz lakirte Glasscheiben und mit Folie belegte Scheiben, und diese Spiegel sind entweder eben oder gekrümmt.

Polirte Metalle geben, wenn sie recht blank sind, sehr reine und lebhafte Bilder, allein die Metallfläche verliert gewöhnlich leicht ihren Glanz, indem sie anläuft. Ausserdem haben viele Metalle (wie Gold, Messing, Kupfer rc.) eine eigenthümliche Farbe. Metallspiegel werden daher gegenwärtig nur in gewissen Fällen angewendet, und man verfertigt sie dann vorzugsweise aus einer möglichst weißen Komposition von Kupfer und Zinn oder Arsenik.

§. 437. So wie das Wasser reflektirt eine recht glatte Glasscheibe einen Theil des auffallenden Lichtes. Auch sie erzeugt daher ein Bild; da dieses aber nur sehr schwach ist, so muß man verhindern, daß zugleich Licht von andern hinter der Scheibe befindlichen Gegenständen in das Auge gelange, und dies geschieht z. B. wenn man die Rückseite derselben schwarz lakirt. Solche Scheiben geben zwar immer schwache Bilder, sie haben aber den Vorzug, daß sie nur einfache geben (weil der schwarze Hintergrund nicht spiegelt), und können besonders zur Abspiegelung ziemlich schief auffallenden Lichtes dienen, weil in diesem Falle ein bedeutender Theil des Lichts reflektirt wird. Zuweilen kann man jedoch vermittelst eines dicken, wenn gleich ungeschwärzten Glases ein hinlänglich deutliches Bild erhalten. Eine solche Abspiegelung hat bekanntlich Statt, wenn man in einer gewissen Stellung durch ein Glasprisma schaut; auch macht man davon bei der Camera lucida Gebrauch.

Am meisten werden aber belegte Glasscheiben als Spiegel angewendet. Die Technologie lehrt, wie man Glastafeln (oder auch hohle Glasgefäße) mit einem blanken Amalgam überzieht. Bei allen diesen Spiegeln gibt die Metallbelegung hinter dem Glase das eigentliche Bild, und dieses ist sehr lebhaft, weil blankes Metall das meiste Licht reflektirt. Sie haben den großen Vorzug vor eigentlichen Metallspiegeln, daß sie, durch das Glas

vor der Luft geschüzt, stets glänzend bleiben. Da jedoch auch die vordere Fläche Strahlen zurückwirft, so entsteht stets noch ein zweites Bild.

Steht das Objekt gerade vor dem Spiegel, so ist das zweite Bild zwar wenig oder gar nicht sichtbar, weil es dann am schwächsten ist, und beide Bilder sich decken. Betrachtet man hingegen schief sich abspiegelnde Objekte, so sieht man deutlich zwei um die doppelte Glasdicke hintereinander stehende Bilder, indem das Bild der Vorderfläche dann immer stärker wird; ja man sieht dann leicht mehrere Bilder, weil ein Theil der von dem Metalle reflektirten Strahlen bei sehr schiefem Durchgange von der vordern Seite von Neuem immer wieder auf die Belegung zurückgeworfen wird.

§. 438. Der gewöhnliche Gebrauch der ebenen oder Planspiegel ist allgemein bekannt. Hier also nur Einiges.

In jedem Spiegel a b (Fig. 80) kann jedes davor stehende Objekt sich abbilden, von dem Strahlen auf den Spiegel fallen, und das Bild liegt so weit hinter der Fläche a′b′, als es in senkrechter Linie davor steht.

Befindet sich ein Auge in o, so ist der Raum a b n p das Gesichtsfeld, das es im Spiegel übersieht, und es überblickt daher die Bilder von allen Objekten, die vor dem Spiegel in dem Raume a b n′ p′ liegen. Daraus folgt, daß mit der Stellung des Auges das Gesichtsfeld sich ändert, und daß es desto größer ist, je näher das Auge dem Spiegel rückt und je größer dieser ist.

Steht der Spiegel schief, so muß auch die Stellung des Bildes verrückt werden. Ist derselbe z. B. unter einem Winkel von 45° gegen den Horizont geneigt, wie a b (Fig. 81), so erscheint das Bild eines senkrechten Objektes x wagrecht in x′, und das eines horizontalliegenden y senkrecht in y′. Bewegt sich vor dem Spiegel ein Objekt x von a nach c, so scheint das Bild im Spiegel von a nach c′ zu steigen, u. s. w.

Ein Planspiegel, auf den man unter einem bestimmten Winkel einen dünnen Bündel Lichtstrahlen fallen läßt, ist hinlänglich, um die Reflexionsgesetze zu studiren.

Mit Hülfe eines solchen Spiegels kann man ferner das Licht der Sonne oder einer Flamme an Orte richten, die sich nicht direkt erleuchten lassen. Man kann z. B. den Boden eines tiefen Brunnens B (Fig. 82) erleuchten, wenn der Spiegel s so gestellt ist, daß der Winkel q = p. Richtet man zugleich das Licht mehrerer Spiegel an denselben Ort, so kann man einen sehr entfernten dadurch so beleuchten, daß alle Theile sichtbar werden. Mit Hülfe vieler Spiegel läßt sich das Licht sogar dergestalt auf Einer Stelle anhäufen, daß man Holz ꝛc. in großer Entfernung anzünden kann.

Ein Planspiegel ist auch brauchbar, um die Höhe eines Baumes z. B. ziemlich genau zu schätzen. Liegt nämlich der kleine Spiegel a (Fig. 83) völlig wagrecht an der Erde, und erblickt ein Auge in b die Spitze B im Spiegel, so verhält sich ac : bc wie aC : BC. Gesezt also, ac sey 3′ und bc = 5′. aC aber 36′: so muß der Baum $\frac{5 \cdot 36}{3} = 60$, hoch seyn.

§. 439. Stellt man zwei Spiegel gegeneinander, so spiegeln sich auch die Bilder gegenseitig ab. So zeigt ein zwischen zwei parallel hängenden Spiegeln gestelltes Licht in jedem eine Reihe von Bildern, die freilich immer schwächer und entfernter werden.

Ein zwischen zwei Spiegel ac und bc (Fig. 84) gestellter Gegenstand erzeugt einen Kreis von Bildern, und man sieht den Gegenstand so viele Male, als die Größe des Winkels acb in 360° enthalten ist. Ist der Winkel = 60°, so sieht man d 6fach; hat er 45°, so erscheint er 8fach u. s. w.

Oft bringt man in Zimmern dergleichen Spiegel an, und durch die Vervielfachung der Bilder einen überraschenden Effekt hervor.

Auf die Wirkungen der Winkelspiegel ist ferner das allgemein bekannte Kaleidoscop gegründet, das der berühmte Optiker Brewster erfand, und dessen Patent ihm mehr eintrug,

als Manchem die Erfindung der nützlichsten Maschine. Stellt man zwei lange kleine Spiegel a (Fig. 85) unter einem spitzen Winkel b von 36° z. B. gegeneinander, und hält man einen glänzenden Körper vor die Oeffnung am einen Ende o, während man bei p hindurchsieht, so erblickt man den Gegenstand verzehnfacht, und da die zehn gleichen Figuren regelmäßig in einem Kreise aneinander gruppirt sind, so erhält auch der unförmlichste Gegenstand eine durch jene Regularität wohlgefällige Gestalt. Das Kaleidoscop besteht nur aus zwei solchen Spiegeln (am besten von schwarzlakirtem Glase), die in einer Röhre eingeschlossen sind; vorn sind zwei Gläser, zwischen die man allerlei kleine vielfarbige Objekte (Stückchen gefärbter Gläser, Moos ꝛc.) bringt, wovon, wie das Instrument bewegt wird, immer andere und in veränderter Lage zwischen die Spiegel kommen, so daß die Zeichnung, die man schaut, unaufhörlich sich verändern läßt.

Das vordere Glas ist matt geschliffen, damit keine andern Gegenstände gesehen werden. Am andern Ende der Röhre ist ein Deckel mit einer kleinen Oeffnung, um hineinzuschauen. Man kann an diesen Kaleidoscopen auch zwei parallele Spiegel, oder drei Spiegel ꝛc. anbringen. Ein einfacher Winkelspiegel gibt indessen den niedlichsten Effekt.

§. 440. Ebene Spiegel werden noch zu mancherlei optischen Vorrichtungen gebraucht.

Sieht man bei a (Fig. 86) durch einen sogen. Operngucker, in dem ein schiefer Spiegel x angebracht ist, so sieht man, bei a hineinschauend, die seitwärts gegen p liegenden Gegenstände, obschon man gegen o das Auge richtet.

Stehn in einem finstern Kasten (Fig. 87) zwei schiefe Spiegel a und b, so wird, wenn zwei Personen bei c und d hineinsehen, jede das Bild der andern erblicken.

Die sogen. Optik ist ein Kasten A (Fig. 88), in dem ein Spiegel a unter einem Winkel von 45° geneigt angebracht ist. Legt man wohl beleuchtete Gemälde verkehrt auf den Boden b, so erblickt sie das Auge o aufrecht im Spiegel, und sieht es

durch ein Linsenglas in den Kasten, so erscheinen die Bilder vergrößert.

§. 441. Häufig wendet man aber auch gekrümmte, und zwar namentlich nach der Kugelform krumme oder sphärische Spiegel an. Diese Spiegel sind entweder Hohlspiegel oder erhabene.

Am gebräuchlichsten sind die erstern.

Die Wirkungen der Hohlspiegel lassen sich aus folgenden Regeln übersehen (Fig. 89):

Ist adb der Durchschnitt eines solchen Spiegels, c das Centrum der Krümmung und f die Mitte zwischen c und d, so heißt dc die Axe des Spiegels und f der Brennpunkt oder Focus desselben.

Bringt man ein Licht in c, so fallen alle Strahlen senkrecht auf den Spiegel, und werden daher senkrecht in sich oder so reflektirt, daß sie sich in c durchschneiden.

Bringt man das Licht in f, so werden die Strahlen parallel mit der Axe und unter sich reflektirt, und ebenso werden parallel auffallende so reflektirt, daß sie sich in f durchschneiden.

Läßt man daher das Licht der Sonne (deren Strahlen so viel als parallel sind) auf den Spiegel fallen, so konzentriren sie sich in f, und erzeugen hier eine große Hitze. Und stellt man zwei solcher Spiegel so gegeneinander, daß beide Axen in eine Linie fallen, und bringt man in den Focus des einen ein brennendes Licht, so ergibt sich im Focus des andern so viel Hitze, daß man leicht Zunder an dieser Stelle anzünden kann.

Hohlspiegel heißen daher auch Brennspiegel, und mit großen kann man bei hellem Sonnenlichte eine Hitze erzeugen, die Metall schmilzt.

Steht ein leuchtender Gegenstand zwischen f und dem Spiegel, so bleiben die reflektirten Strahlen auseinanderlaufend; das Auge erblickt daher ein Bild hinter dem Spiegel; weil aber die

Strahlen weniger divergiren, so daß die Spitzen der Strahlenkegel viel weiter hinter dem Spiegel liegen, so ist das Bild, das man sieht, weit größer (doch aufrecht).

Man braucht daher Hohlspiegel, um sich vergrößert zu sehen (zum Rasiren ꝛc.). Man muß jedoch zu dem Ende dem Spiegel immer näher stehen, als der Focus ist.

§. 442. Bringt man ein Objekt zwischen f und c (Fig. 90), so werden die reflektirten Strahlen convergirend und vereinigen sich in q; es entsteht also hier ein Luftbild, und zwar ein umgekehrtes, das man aber nur dann sieht, wenn die von q fortlaufenden Strahlen in das Auge gelangen. Ebenso entsteht ein kleines Luftbild in g, wenn der Gegenstand bei q steht.

Läßt man die Luftbilder auf ein Blatt Papier oder eine Wand fallen, so werden sie nach allen Seiten sichtbar. Je näher g bei c liegt, desto näher rückt auch das Bild in q und umgekehrt. *)

Die merkwürdigen Luftbilder, die sich durch die Hohlspiegel erzeugen lassen, machen diese Spiegel insbesondere zu allerlei optischen Kunststücken und Belustigungen tauglich.

§. 443. Befindet sich ein Objekt h vor einem erhabenen oder convexen Spiegel wie ab (Fig. 91), so entsteht darin in der Regel ein gerades, verkleinertes und meist etwas verzerrtes Bild g. Diese Spiegel werden indessen selten gebraucht.

Ebenso werden nur selten Spiegel verfertigt, die eine andere als sphärische Krümmung haben; sehr häufig sieht man aber zufällig die mannichfach verzerrten Bilder, die sich in dergleichen spiegelnden Flächen erzeugen, wie z. B., wenn man in silberne Löffel, Uhrgehäuse oder andere polirte Metallgefäße blickt. Die Wirkungen der sphärischen Spiegel kann man leicht darstellen,

*) Da die Hohlspiegel gemeiniglich Glasspiegel sind, und zwar auf der Vorderseite flache, so entstehen zugleich Bilder durch die Reflexion von dieser Fläche, die man wohl unterscheiden muß. Ebenso sehen oft beide Augen zwei Bilder.

wenn man ein großes Uhrglas auf der einen Seite schwärzt, oder es auch nur gegen ein schwarzes Tuch hält.

Ueber den wirklichen Ort der Spiegelbilder täuscht man sich übrigens leicht; und es gehört daher Uebung dazu, Dinge zu verrichten, die man nur im Spiegel sieht. Es wird z. B. sehr schwer seyn, eine Nadel einzufädeln; und wer z. B. zwei Spiegel anwendet, um sich von der Seite oder von hinten zu sehen, wird doch nach vieler Uebung erst im Stande seyn, sich hinten etwa zu frisiren u. dgl.

5) Von den wichtigsten optischen Instrumenten.

Von den Vergrößerungsgläsern oder Mikroscopen.

§. 444. Auch für das schärfste Auge werden zu kleine oder zu ferne Gegenstände unsichtbar; denn sind sie auch hell genug, so wird, wenn sie zu fern oder zu klein sind, der Gesichtswinkel, unter dem die Strahlen in das Auge gelangen, zu klein, und bringt man sehr kleine Objekte dem Auge sehr nahe, so wird zwar der Gesichtswinkel groß genug, allein die Spitze der Strahlenkegel trifft alsdann nicht die Retina, und es ist auch dann kein deutliches Sehen möglich.

Durch künstliche Vorrichtungen oder Gläser, welche die in unser Auge gelangenden Strahlen so brechen, daß sie nun einen viel größern Gesichtswinkel bilden und dennoch genau auf der Retina zusammenfallen, können wir jener Unvollkommenheit des natürlichen Auges zu Hülfe kommen und es in den Stand setzen, auch überaus kleine oder entfernte Objekte deutlich zu sehen. Instrumente, die zum Sehen der kleinsten Gegenstände dienen, heißen überhaupt Mikroscope, und solche, durch die wir weit fernere sehen können, Telescope.

Die ersten sind besonders dem Naturforscher, und die zweiten dem Astronomen und Geometer von unschätzbarem Werthe, und daher zur möglichsten Vollkommenheit gebracht worden.

Beide sind indessen auch im gemeinen Leben und für den Industriellen höchst nützlich.

§. 445. Jede Convexlinse kann als einfaches Mikroscop dienen und heißt dann ein Vergrößerungsglas oder eine Lupe.

Die Erfahrung lehrt nämlich, daß wir jeden Gegenstand in einer Entfernung von etwa 8″ am deutlichsten sehen, und daß wir nur solche Gegenstände noch erkennen, deren Strahlen in dieser Entfernung noch einen Gesichtswinkel von einer gewissen Größe bilden. Ist also a b (Fig. 92) 8″ weit vom Auge, der Winkel a b c aber zu klein, so wird a b nicht sichtbar. Bringt man a b in eine Entfernung von 1″, so wird der Winkel a′ b c′ zwar 8mal größer, und a b wohl deßhalb sichtbar, allein da die Strahlen sich nun nicht mehr auf der Netzhaut vereinigen, so ist ebenfalls der Gegenstand nicht zu erkennen. Bringt man aber zwischen a′ b′ und das Auge eine Linse l, deren Focus ungefähr in a′ b′ ist, und entfernt man etwas das Auge, so werden die Strahlen beinahe parallel nach der Brechung, und man sieht daher den Gegenstand 8mal größer, aber dennoch deutlich.

Eine solche Linse vergrößert daher im Verhältniß ihrer Brennweite zur gewöhnlichen Gesichtsweite; und die Vergrößerung der Fläche verhält sich wie das Quadrat dieser einfachen Vergrößerung. Wendet man also z. B. eine Lupe an, deren Brennweite $1/3$″ ist, so wäre die einfache Vergrößerung etwa die 24fache, und die Oberfläche eines Objekts würde ungefähr 24×24 oder 576mal größer erscheinen. (Optiker geben zuweilen, was aber, da man nur Flächen sieht, lächerlich ist, die kubische Vergrößerung an.)

In sehr vielen Fällen kann schon eine solche Lupe treffliche Dienste thun. Man braucht sie vielfach, z. B. um die Feinheit von Gespinnsten und Geweben zu erkennen. Es ist dann nicht nur eine Vorrichtung vorhanden, die dem Objekt die gehörige Entfernung anweist, sondern zugleich eine mit feinen Strichen versehene Eintheilung, um die Messung zu erleichtern. Oft sind auch Sammelgläser oder Spiegel angebracht, um das Objekt so viel möglich zu erleuchten.

§. 446. Alle einfachen Vergrößerungsgläser haben indessen das Unbequeme, daß das Objekt dem Auge sehr nahe gebracht werden muß, und um so näher, je stärker die Vergrößerung seyn soll. Um diesem Uebelstand zu begegnen, hat man daher auch zusammengesezte Mikroscope, d. h. solche mit mehreren Gläsern, so daß das Auge nicht sowohl das Objekt selbst oder unmittelbar betrachtet, sondern vielmehr ein Bild, das durch eine erste Linse hervorgebracht wird. Gewöhnlich haben solche Mikroscope drei Linsen. Das Objekt x (Fig. 93) wird hier durch die erste (das Objektivglas) g vergrößert; durch die zweite (das Collektivglas) q entsteht ein Bild bei y, und dieses sieht dann das Auge o durch die dritte Linse (das Okularglas) r. Die drei Linsen sind in einer Röhre, die sich verschieben läßt, damit sie leicht in die gehörige Distanz gebracht werden können.

Von den Fernröhren oder Telescopen.

§. 447. Versieht man eine Röhre a b (Fig. 94) mit zwei Converlinsen o und p, die um die Summe ihrer Brennweiten von einander entfernt sind, so daß x der Focus von p und o ist, und hat p einen kürzern Focus als o, so entsteht in x, wenn o gegen einen sehr fernen Gegenstand gerichtet ist, ein Bild desselben (weil die Strahlen als parallel zu betrachten sind) und die durch p gehenden Strahlen müssen ebenso fast parallel in ein Auge bei a kommen. Das Auge sieht das Bild bei x daher vergrößert und dennoch deutlich; allein umgekehrt, da das Bild umgekehrt seyn wird. Diese einfachen Fernröhren heißen astronomische, weil sie nur zu astronomischen Beobachtungen im Gebrauch sind, wo dieses Verkehrtsehen von keinem Nachtheil ist.

Um ferne Gegenstände auf der Erde zu betrachten, ist es wichtig, daß sie in ihrer natürlichen Stellung oder aufrecht gesehen werden. Es geschieht dies entweder, a) indem man das obige Fernrohr noch mit zwei andern Okulargläsern versieht, deren Zweck ist, das Bild wieder umzukehren. Auf diese Weise sind die gewöhnlichen Erdfernröhre eingerichtet.

Oder b) indem man statt des converen Okularglases ein einziges concaves anbringt, das um die Differenz ihrer beiden Brennpunkte von dem Objektivglase o absteht. Auf diese Weise sind die sogen. Gallileischen Fernröhren oder die gewöhnlichen Perspektive konstruirt, die also nur zwei Gläser haben, und hauptsächlich dienen, um mäßig entfernte Gegenstände deutlicher zu sehen.

Alle diese Instrumente haben das Nachtheilige, daß das Gesichtsfeld nicht groß ist, und um so kleiner wird, je stärker der Effekt ist, und überdies, daß die Zerstreuung des Lichts farbige Ränder erzeugt. Dem lezten Uebelstande ist indessen durch Gläser, die aus zweierlei Massen zusammengesezt sind, abzuhelfen. Solche vervollkommnete Fernröhren heißen achromatische.

§. 448. Um ein größeres Gesichtsfeld zu erhalten, hat man später noch eine andere Art von Fernröhren, die Spiegeltelescope, erfunden. Auch von diesen kann hier nur im Allgemeinen die Construktion angedeutet werden.

Gewöhnlich bestehen diese Telescope aus einer weiten Röhre von Messingblech A (Fig. 95), in deren Boden ein in der Mitte durchbrochener sphärischer Hohlspiegel ab (aus einer polirten Metallcomposition) befindlich ist. Richtet man die Mündung der Röhre gegen einen entfernten Gegenstand, so werden die auf ab auffallenden Strahlen so zurückgeworfen, daß sie bei i ein kleines verkehrtes Bild erzeugen. Bei n ist nun ein zweiter kleiner Hohlspiegel vorhanden, der dieses Bild i so reflektirt, daß ein zweites in der Okularröhre bei o entsteht, das endlich durch das Converglas p von dem Auge und zwar vergrößert und deutlich gesehen werden kann. Vermittelst einer Mikrometerschraube läßt sich dem Spiegel n die gehörige Entfernung geben, damit das Bild o den richtigen Abstand von p erhält.

Die Camera obscura.

§. 449. Bringt man in dem Laden eines verfinsterten Zimmers eine kleine Oeffnung an, und darin eine Converlinse, so

bilden sich hinter dieser auf einer weißen Wand alle äussern Gegenstände ab, von welcher Lichtstrahlen auf die Linse fallen. Es entsteht hiemit auf der Wand, wenn sie in der gehörigen Entfernung steht, ein sehr deutliches Gemälde der äusseren Natur, das um so lebhafter ist, je mehr diese erleuchtet ist, und um so überraschender, wenn die äussern Gegenstände sich bewegen.

Diese Einrichtung, die man Camera obscura (dunkle Kammer) nennt, macht besonders einen bezaubernden Effekt, wenn dadurch das lebendige Gemälde eines Platzes, wo viele Menschen sich bewegen, oder eines Wasserfalls u. dgl. erhalten wird, und wenn die Bilder auf einer halbdurchsichtigen Fläche (einer mattgeschliffenen Glastafel z. B.) aufgefangen werden, so daß sie auf der Rückseite sichtbar sind. Bei allen diesen Vorrichtungen ist jedoch zugleich ein Spiegel anzubringen, der die Strahlen zuerst erhält und dann auf die Wand reflektirt, weil sonst das Bild eine verkehrte Stellung hat.

Häufig wird eine kleine Camera obscura auch gebraucht, um Landschaften u. dgl. abzuzeichnen. s t u v (Fig. 96) ist ein schwarzer Kasten; x ein unter einem Winkel von 45° geneigter Spiegel, a die Linse, die sich verschieben läßt, und b eine mattgeschliffene Glastafel. Die Bilder, statt auf die Tafel t u zu fallen, werden dann auf die Tafel b reflektirt. Um sie lebhafter zu sehen, bringt man noch einen Deckel s g t an.

Noch einfacher ist die Vorrichtung Fig. 97. Hier werden die Strahlen zuerst durch einen Spiegel t aufgefangen und durch die Linse a gebrochen, so daß man auf dem Boden b c ein gerade liegendes Bild erhält, das der bei x Stehende nachzeichnen kann.

§. 449 a). Offenbar entsteht die Abbildung der äusseren Gegenstände auf dieser Wand ganz so, wie die auf der Netzhaut in unserm Auge. Die Camera obscura kann daher auch dienen, um die Funktion des **Auges** und die Wirkung der **Brillen** rc. zu erläutern.

Ist A (Fig. 101) eine verschlossene Röhre, und vorn bei a eine Linse; die hintere Fläche b ein mattes Glas, so erhält man

nur bei einem bestimmten Abstand der Fläche b von a ein deutliches Bild eines Lichtes c. Verschiebt man b, so wird das Bild undeutlich. Steht b zu nahe, was dasselbe ist, als wenn die Linse a zu schwach ist, so wird das Bild deutlich, wenn man vor a eine zweite Converlinse stellt; und umgekehrt, wenn b zu entfernt ist (oder wenn a zu stark ist), so wird es deutlich, indem man vor die Linse eine concave Linse bringt.

In neuerer Zeit (1809) hat der Engländer Wollaston ein anderes sinnreiches und bequemes Instrument erfunden, um das Zeichnen nach der Natur zu erleichtern, das er Camera lucida oder clara nannte.

Von den Zauberlaternen (Laterna magica).

§. 449 b). Dieses optische Werkzeug ist zwar ein Spielzeug der Kinder geworden, dennoch aber eines der sinnreichsten Instrumente und von sehr merkwürdigem Effekte.

In einem blechernen Kasten A (Fig. 99) wird eine Lampe a angezündet, deren Flamme in den Brennpunkt eines Hohlspiegels bc fällt. Bei d wird ein gefärbtes Glas eingeschoben und dieses daher stark erleuchtet, und um so mehr, da eine Converlinse f die durchgehenden Strahlen (die vom Spiegel, sowie direkt von der Flamme darauf fallen) zusammenbricht. Vor dem Glase d sind nun noch zwei Linsen g und h. Durch g werden die Strahlen mn noch convergirender, so daß sie sich bei i durchschneiden, und divergirend auf h auffallen. Durch h aber wird ihre Divergenz wieder mehr oder weniger vermindert, so daß die verschiedenen farbigen Strahlen auf der weißen Wand xy ein Gemälde bilden. Je nachdem man h verrückt und die Laterne von der Wand entfernt oder ihr nähert, wird das Bild größer oder kleiner, und deutlicher oder undeutlicher. Steht die Wand in einem ganz finstern Zimmer, und ist das Glas rings um die gemalte Figur schwarz und undurchsichtig, so sieht man auf der Wand nichts als das Bild, und dieses wegen der Verfinsterung sehr hell. Ist die Fläche, worauf das Bild fällt, durchscheinend

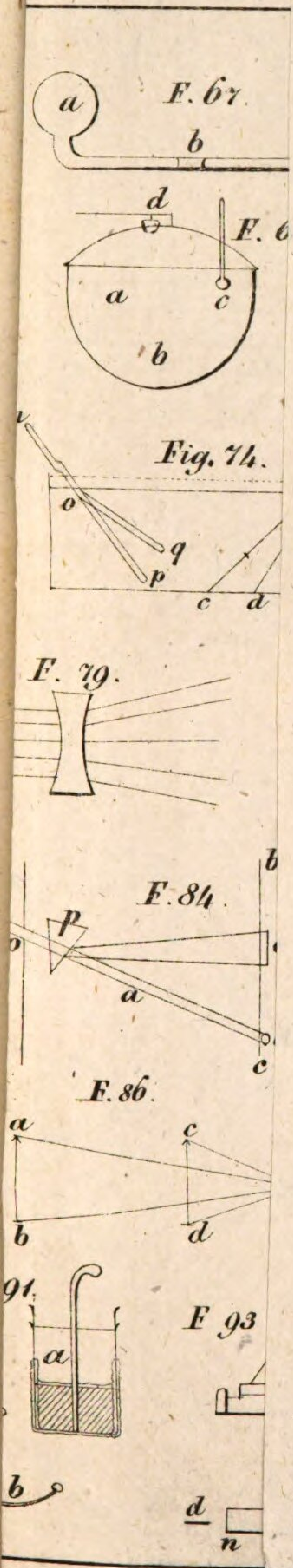
so ist es auf der Rückseite sichtbar. Ebenso kann man es in einem aufsteigenden Rauche sichtbar machen. Sieht man nichts, als das Bild, so bringt ein Größer- oder Kleinerwerden desselben täuschend die Wirkung hervor, als ob es dem Zuschauer näher oder ferner rückte 2c.

Vermittelst dieses Instruments lassen sich daher bei geschickter Handhabung allerlei zauberische Erscheinungen oder sogen. Fantasmagorien darstellen. Es versteht sich übrigens, daß, damit die Bilder eine aufrechte Stellung erhalten, die Glasscheiben verkehrt vorgeschoben werden müssen.

Druck der Officin der J. G. Cotta'schen Buchhandlung
in Stuttgart.

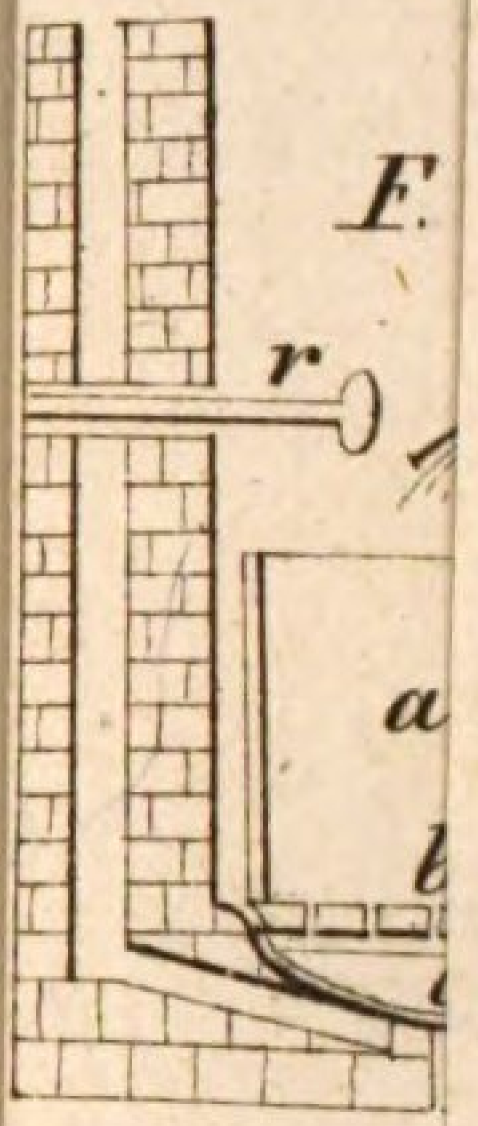
F.10.
18.
c
b
a
a'

d A
F.4
d
7.
c
g
e

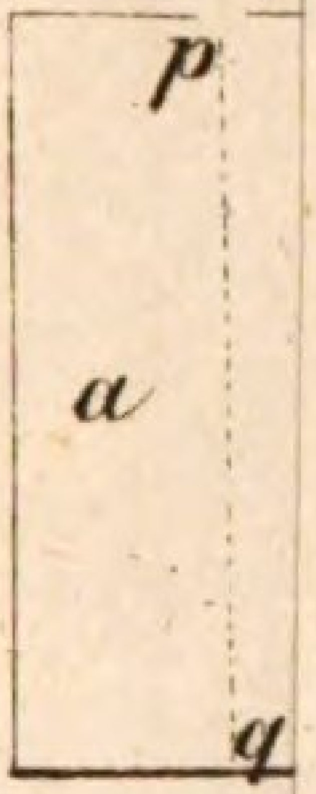

F. 67.
a
b
d
F. 6
a
c
b
Fig. 74.
o
q
p
c
d
F. 79.
b
F. 84.
p
a
c
F. 86.
a
c
b
d
91.
a
F 93
b
d
n

2
a
b
c
c
1

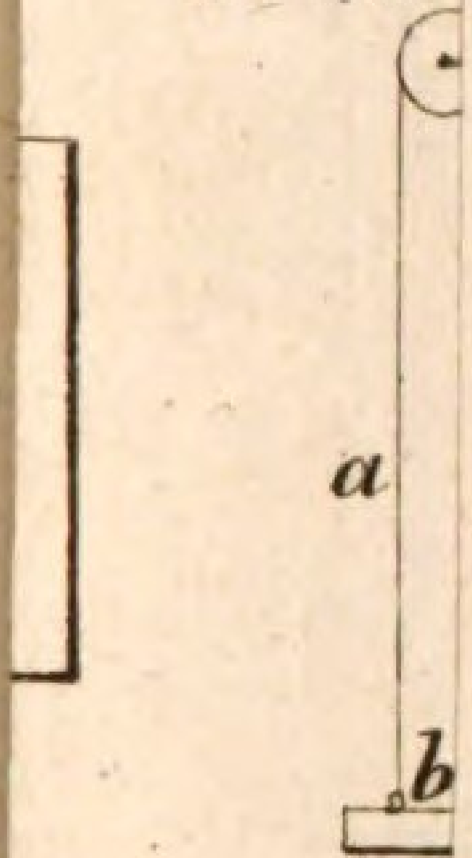
F.

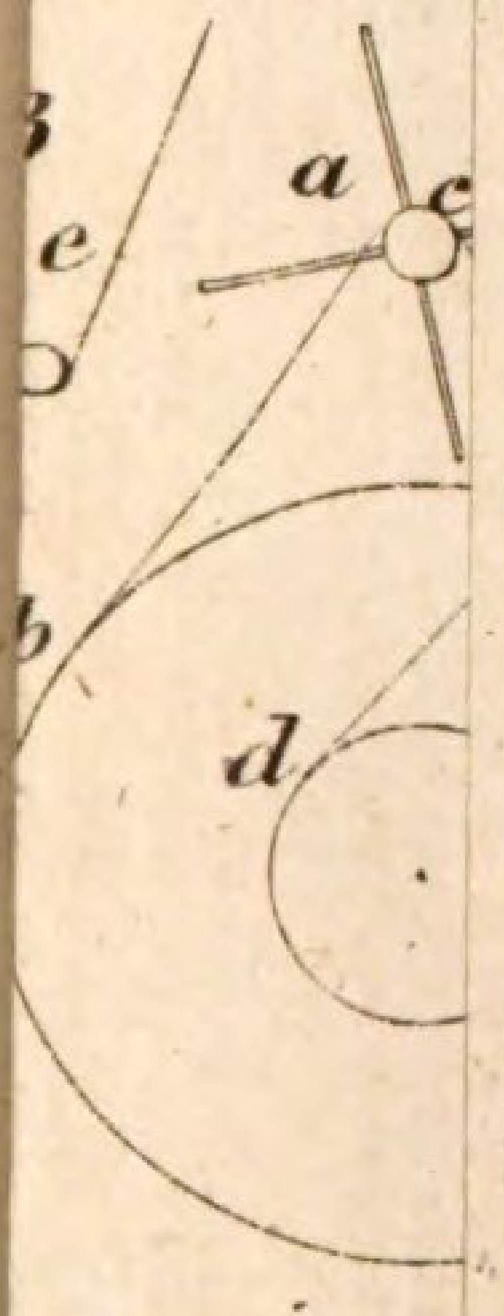


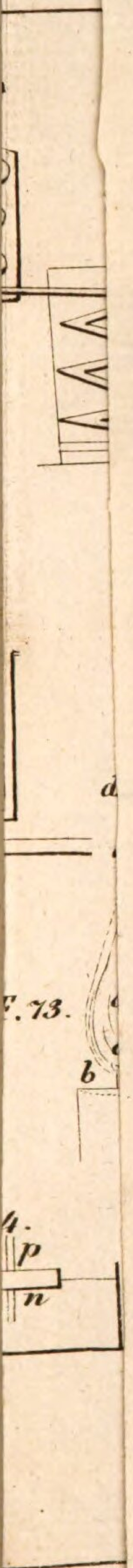
F. 4

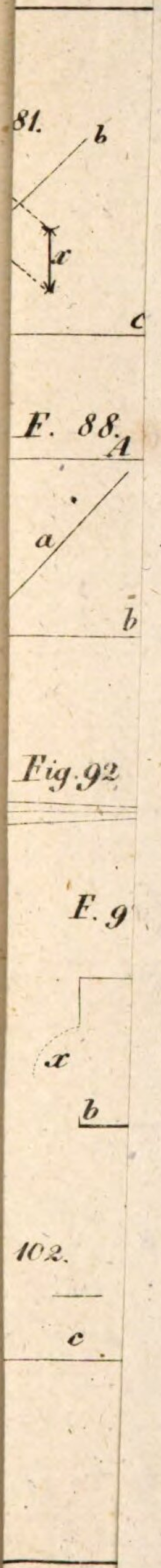


F. 48.






d
F. 73.
b
4.
p
n


81.
b
x
c
F. 88.
A
a
b
Fig. 92
F. 9
x
b
102.
c

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Bernoulli, Christoph,

Elementarisches Handbuch der industriellen Physik, Mechanik und Hydraulik

Bd.: Erster Band

Stuttgart ; Tübingen 1834

Phys.g. 39 b-1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10130735-7